

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a zařízení

Návrh lisovacího nástroje

Pressing tool design

Student:

Bc. Jan Červenka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Hapla

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Červenka**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Návrh lisovacího nástroje**  
**Pressing Tool Design**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Vytvořte konstrukční návrh lisovacího nástroje pro lisování plechového víčka. Víčko o výšce 70 mm bude vyrobeno v jednom tahu. Přesnější specifikace tvaru víčka a postup lisování bude upřesněn zadavatelem diplomové práce.

### Zpracujte:

- rešerši dané problematiky,
- konstrukční návrhy variant řešení,
- potřebnou výpočtovou zprávu,
- výkresovou dokumentaci.

### Seznam doporučené odborné literatury:


ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře – části spojovací*. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8  
LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2003, 888 s. ISBN 80-86490-74-2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Hapla**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ve Frýdlantě nad Ostravicí dne 8.5.2017

Podpis: .....

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Červenka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lubno 202, Frýdlant nad Ostravicí

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

ČERVENKA, J. *Návrh lisovacího nástroje: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a zařízení, 2017, 62 s. Vedoucí diplomové práce: Hapla T.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem lisovacího nástroje pro víčko o výšce 70 mm, vyrobené na jeden tah. Lisovací nástroj bude navržen dle platné normy ČSN 22 7301. Víčko slouží jako víčko tlakové nádoby o vnějším průměru 168,3 mm. Víčko tlakové nádoby bude vyrobeno v souladu s normou DIN 28011 a v souladu s platnou legislativou pro výrobu tlakových lahví - PED 97/23/EC. Lisovací nástroj bude doplněn o výpočtovou zprávu, funkce nástroje budou kompletně vysvětleny a budou popsány jednotlivé části nástroje. Budou navrženy také další metody způsobu návrhu víčka. Dále se bude diplomová práce zabývat ekonomickým vyhodnocením návrhu a porovnáním jednotlivých metod návrhu. Pro lisovací nástroj bude vypracována potřebná výkresová dokumentace včetně doplnění výkresové dokumentace tlakové nádoby, pro které bude víčko navrženo.

## **ANNOTATION OF MASTER'S THESIS**

ČERVENKA, J. *Pressing tool design*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2017, 62 p. Thesis supervisor: Hapla, T.

Master's thesis describe Pressing tool design for torispherical head of 70mm height one move made. Design of pressing tool is according to ČSN 22 7301. Torispherical head is used for pressure vessel of diameter 168,3mm according to DIN 28011 and PED 97/23/EC. Thesis contains a calculation reports. Function tool and his main parts will be explained. Other methods of producing torispherical head are proposed. Economic evaluation the design and comparison methods include this thesis. Main drawings of tool, head and pressure vessel are attached.

## Obsah

1.	Představení podniku PV-Czech, s.r.o .....	11
1.1	Sídlo firmy .....	11
1.2	Historie firmy .....	12
1.3	Současný stav firmy .....	12
1.4	Klíčoví zákazníci společnosti.....	13
2.	Představení technologie lisování .....	14
2.1	Metody lisování - tažení.....	16
2.1.1	Speciální metody tažení .....	17
2.1.1.1	Metoda tažení pryží .....	17
2.1.1.2	Metoda tažení kapalinou.....	17
2.2	Přehled lisů.....	18
2.2.1	Největší výrobci lisů .....	18
2.3	Lisovací nástroje .....	19
2.3.1	Největší výrobci lisovacích nástrojů v ČR .....	19
3.	Uvedení do problematiky návrhu .....	20
3.1	Postup řešení výroby víčka .....	21
3.1.1	Problematika směrnice PED 97/23/EC .....	21
3.1.2	Tvar víčka dle normy DIN 28011 .....	21
3.2	Výpočet hlavních rozměrů víčka .....	22
3.3	Minimální tloušťka a materiál víčka dle normy.....	23
3.3.1	Výpočet minimální tloušťky materiálu víčka .....	24
3.3.2	Výpočet minimální tloušťky materiálu víčka včetně přídavků.....	24
4.	Střih blanku víčka .....	25
4.1	Další možnosti způsoby výroby blanku .....	26
4.2	Určení průměru blanku .....	26
4.3	Výpočet průměru blanku.....	27
5.	Kontrolní výpočty nástroje .....	28
5.1	Výpočet tažné síly .....	28
5.2	Použití přidržovače.....	29
5.2.1	Podmínka použití přidržovače: .....	29
5.2.2	Výpočet přidržovací síly .....	30
5.3	Výpočet celkové tažné síly.....	31
5.4	Výpočet práce potřebné k tažení .....	31
6.	Konstrukce nástroje .....	32
6.1	Konstrukce spodního dílu nástroje.....	33
6.2	Konstrukce středního dílu nástroje.....	35

6.3	Konstrukce horního dílu nástroje .....	37
7.	Popis nástroje při výrobě .....	40
7.1	Seřízení nástroje v lise .....	40
7.2	Mazání při tažení .....	40
7.3	První cyklus nástroje .....	41
7.4	Druhý cyklus nástroje .....	41
7.5	Třetí cyklus nástroje .....	42
7.6	Čtvrtý cyklus nástroje .....	42
7.7	Pátý cyklus nástroje .....	43
7.8	Šestý cyklus nástroje .....	43
8.	MKP analýza nástroje .....	44
8.1	MKP analýza Tažnice .....	44
8.2	MKP analýza Tažníku .....	45
9.	Konečná úprava víčka – vnitřní zarolování .....	47
10.	Další možnosti návrhu tvaru víčka .....	48
10.1	Metoda vnějšího zarolování víčka .....	48
10.2	Metoda většího průměru víčka .....	49
10.3	Metoda soustružené příruby .....	49
11.	Reálný vyrobený kus .....	50
11.1	Tloušťka stěny víčka v řezu .....	51
12.	Ekonomické vyhodnocení návrhu .....	52
12.1	Cena lisovacího nástroje .....	52
12.2	Cena jednoho blanku .....	52
12.3	Cena jednoho víčka při výrobě 1 000 ks víček .....	54
12.4	Cena jednoho víčka při výrobě 10 000 ks víček .....	54
12.5	Cena jednoho víčka při výrobě 100 000 ks víček .....	54
12.6	Cena jednoho víčka při výrobě 250 000 ks víček .....	55
12.7	Grafické porovnání ceny jednotlivých návrhů .....	55
	Závěr .....	57
	Seznam použité literatury: .....	58
	Seznam obrázků: .....	60
	Seznam příloh: .....	62

## Seznam použitých značek a symbolů:

Značka	Popis	Jednotka
$\alpha$	součinitel použití přidržovače	[-]
$C_n$	celková cena nástroje	[Kč]
$c_1$	tolerance tloušťky plechu	[mm]
$c_2$	korozní přídavek	[mm]
$C_b$	cena blanku	[Kč]
$C_{mP265GH}$	cena materiálu	[Kč/kg]
$C_z$	cena zarolování víčka	[N/m]
$D$	vnější průměr víčka	[mm]
$D_{bl}$	průměr blanku	[mm]
$D_S$	střední průměr výtažku	[mm]
$D_t$	průměr tažníku	[mm]
$F_c$	celková tažná síla	[N]
$F_p$	přidržovací síla	[N]
$F_t$	tažná síla	[N]
$h$	výška víčka	[mm]
$h_1$	výška nezaoblené části víčka	[mm]
$H_{sl}$	hodinová sazba lisu	[Kč]
$k_p$	koeficient závislý na tlaku a ploše	[N/m]
$kt$	opravný součinitel	[-]
$m_o$	hmotnost střížného odpadu	[kg]
$m_s$	hmotnost materiálu	[g]
$n$	počet	[ks]

Značka	Popis	Jednotka
$nb$	počet vystřihnutých blanků	[ks/hod]
$p, p_{pr}$	tlak	[MPa]
$p_p$	přidržovací tlak	[N/m]
$R_{l,2}$	poloměr zaoblení	[mm]
$Re$	mez kluzu	[MPa]
$Rm$	mez pevnosti	[MPa]
$R_t$	poloměr zaoblení hrany tažnice	[mm]
$t$	tloušťka materiálu	[mm]
$V_{bl}$	objem blanku	[mm <sup>3</sup> ]
$V_v$	objem víka	[mm <sup>3</sup> ]
$Z$	materiálová konstanta	[-]



## Úvod

Lisování je v dnešní době moderní způsob výroby jak jednoduchých tak i velmi složitých kovových i nekovových dílů různých tvarů, tloušťek a velikostí. S lisovanými díly se můžeme setkat takřka kdekoli a to např. v elektrotechnickém, automobilovém, leteckém, potravinovém, hodinářském ale i telekomunikačním průmyslu. Bez technologie lisování bychom si dnes jen těžko představili např. dnešní podobu automobilu jako takového. Výroba těchto designových velmi náročných tvarů by bez této technologie nebyla možná.

Lisování je především otázkou sériové výroby a to výroby, která se týká několika tisíc až stovek tisíc kusů. Výroba lisovacích nástrojů je velmi drahou záležitostí a mnohdy cena nástroje překračuje i stovky tisíc až několik milionů Kč. Cena těchto nástrojů je způsobená především složitostí výroby spojená s přesností a cenou nástrojových materiálů.

V dnešní moderní době se již málo kdy používá na velmi členité a tvarově složité lisované součásti 2D technická dokumentace, ale vygenerovaný tvar součásti jde přímo počítačově do stroje, který navrhne, vypočte a vyrobí spodní a horní díl lisovacího nástroje. Měření takto složitých dílů se neprovádí klasickými měřidly, ale např. 3D skenery, kde je naskenovaný model porovnáván s počítačově vytvořeným dílem a to vše softwarově a to až s přesností 0,05 mm ve všech jeho osách. Návrh víčka není tvarově složitý, proto je návrh víčka, nástroj víčka a tlaková nádoba zkrešlena v přiložené 2D technické dokumentaci.

Řešené víčko bude součástí tlakové nádoby, která má stanovený maximální pracovní tlak  $PS = 3,5 \text{ MPa}$ , musí tedy splňovat směrnice PED 97/23/EC.

Směrnice PED jako taková, se vztahuje na výrobu a posuzování tlakových nádob s minimálním pracovním tlakem  $PS = 0,05 \text{ MPa}$ . Víčko tedy dle této směrnice musí splňovat jak tvar, tak i minimální tloušťku po vylisování, ale i jakost materiálu. Musí také jako celek tlakové nádoby vydržet destruktivní test stanovený touto směrnicí. Na nádobu jako celek se dělají různé certifikace, svařovací deklaráce, zkoušky atd. a to vše v souladu se zařazením tlakové nádoby do jednotlivé kategorie dle PED.

## **Cíle diplomové práce**

- Představení podniku
- Popis technologie lisování
- Popsat druhy a výrobce lisů
- Seznámení se s návrhem nástroje, víčka a tlakové nádoby
- Popsat problematiku směrnice PED u daného řešení
- Návrh kompletního tvaru víčka dle všech směrnic
- Návrh lisovacího nástroje včetně detailního popisu a výrobní dokumentace
- Seznámení s dalšími způsoby výroby tlakové nádoby a víčka
- MKP analýza nejvíce namáhaných součástí
- Ekonomické zhodnocení návrhu

## 1. Představení podniku PV-Czech, s.r.o

Společnost PV-Czech s.r.o je dceřinou společností firmy Culobel, která se zabývá lisováním plechu, výrobou tlakových lahví, CNC obráběním, pálením či ohýbáním a v neposlední řadě také montáží moderních světel.



Obr. 1 – Hlavní výrobky firmy [13]

### 1.1 Sídlo firmy

Firma sídlí ve třech zemích světa a to v České republice, Belgii a Číně.



Obr. 2 – Přehled sídla firmy na mapě světa [13]

## 1.2 Historie firmy

Historie firmy se datuje od roku 1928, kdy se firma začala zabývat lisováním knoflíků pro uniformy. V roce 1942 se za druhé světové války firma začala zabývat náročnou technologií, hlubokým tažením objímek pro žárovky. Firma se v roce 1976-1984 rozrostla o nové tovární haly o ploše 4 800m<sup>2</sup>. V roce 1991 se společnost spojila se skupinou VADO. V roce 1994 získala firma svůj první certifikát ISO 9001, a mohla tak určovat nové trendy v rámci svého odvětví. V roce 1999 pak firma investovala několik miliónů eur na zakoupení 17-ti nových lisovacích center.

V České republice začala firma provozovat svou první pobočku v roce 2001 s názvem PV-Czech s.r.o., která byla vybavena moderními lisami pro hluboké tažení, a také svařovacími roboty. V roce 2014 pak firma v České republice vybudovala dvě nové velké haly a to s celkovou plochou nad 13 000m<sup>2</sup>.

## 1.3 Současný stav firmy

V současné době má firma PV-Czech s.r.o. okolo 200 zaměstnanců. Firma Culobel jako celek pak zaměstnanců 350. Je tedy zřejmé, že pro firmu Culobel je česká pobočka pobočkou klíčovou a to nejen v celkové výrobní kapacitě, ale v počtu svých zaměstnanců.



Obr. 3 – Letecký pohled na firmu PV-Czech s.r.o.

## 1.4 Klíčoví zákazníci společnosti

Nejdůležitější zákazník firmy je společnost Daikin, kterému firma dodává největší procento svých výrobků. Pro firmu Daikin firma vyrábí nejen plechové výlisky, ale i tlakové láhve či součásti vyráběné na CNC centrech.

V oblasti tlakových láhví jsou nejdůležitějšími zákazníky firmy Ekotez, Emerson, Trane, Hitachi a Hydac. V oblasti CNC center pak Modular, Renner kompressoren.

V oblasti montáže moderních světel jsou jen dva klíčoví zákazníci a to Modular a Dark light.



Obr. 4 – Loga klíčových zákazníků firmy PV-Czech s.r.o.

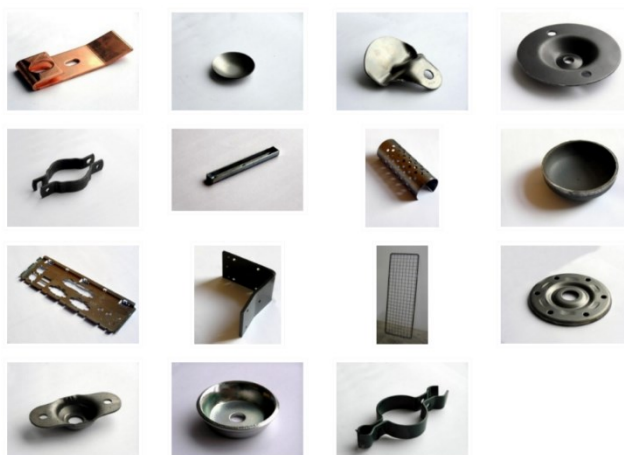
## 2. Představení technologie lisování

Lisování je technologie mechanického zpracování součástí pomocí tlaku popř. rázu. Následkem deformace se mění tvar tělesa, ale platí zde zákon o zachování objemu, tzn. objem tělesa před lisováním je roven objemu tělesa po lisování a to pokud při lisování nedochází k přístřihům materiálu. Díky tomuto faktu lze také určit výchozí rozvinutý tvar neboli blank řešeného víčka.

Existují různé druhy a způsoby lisování. Způsob lisování určí technolog, který navrhne vhodnou metodu způsobu výroby dané součásti. V některých firmách určuje způsob výroby konstruktér, který zastupuje funkci jak konstruktéra, tak technologa.

Hlavní faktory ovlivňující proces lisování:

- Plasticita, pružnost, pevnost a houževnatost materiálu
- chemické složení materiálu
- velikost a tvar součásti
- stav povrchu materiálu, razníku, matrice
- teplota okolí, teplota lisované součásti, teplota razníku a matrice
- časový průběh zatěžování
- rychlost deformace



Obr. 5– Přehled jednoduchých plechových výlisků [13]



Z obrázku č. 6 jsou vidět součásti dělány postupovým nástrojem, který dělá jak stříh, tak ohyb a to v několika krocích. Nevýhoda postupových nástrojů je především vysoká cena a většinou tímto nástrojem vyrobíme jen jeden druh součástí.



Obr. 6 – Přehled složitějších plechových výlisků [13]

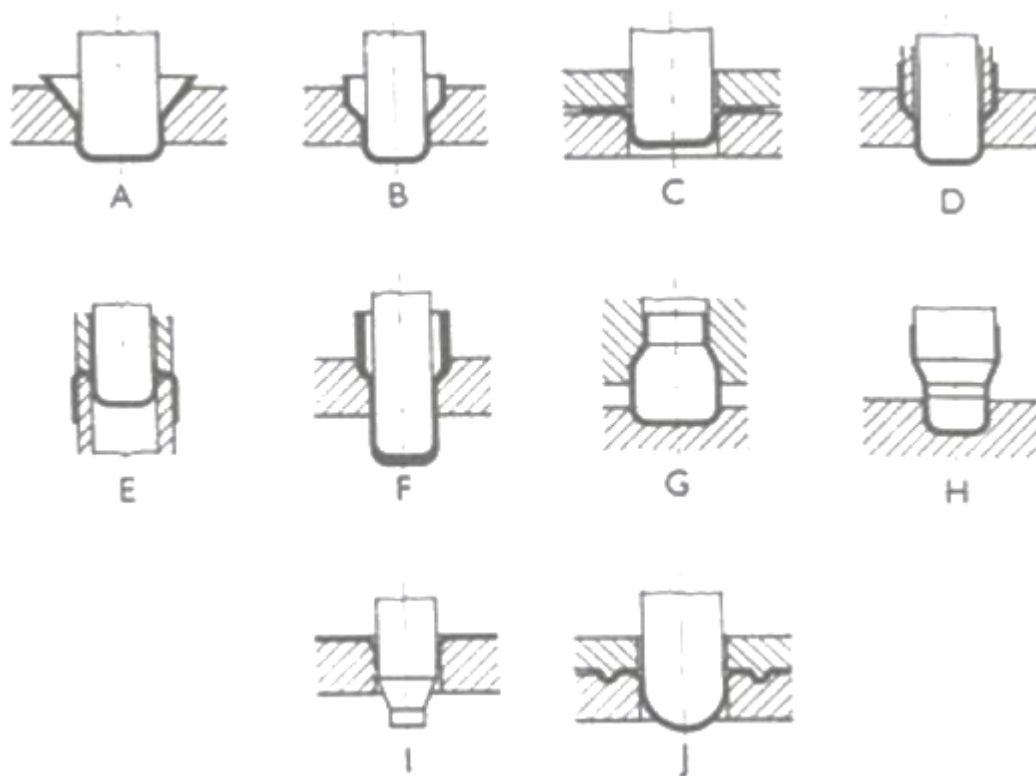
Na obrázku č.7 je vidět přední maska automobilu, která je vyrobena způsobem tažení a zároveň stříhání. Z hlediska složitosti nástroje se jedná o velmi složitý díl. Tyto díly obvykle vyžadují nástroje rozdělené na více stanišť. Znamená to tedy, že daný kus nejdříve nástrojem vystříháme, a na dalším stanovišti poté vytáhneme.



Obr. 7 – Velmi složitý výlisek [13]

## 2.1 Metody lisování - tažení

Metody lisování lze rozdělit do několika skupin a to dle tvaru výlisku na mělké, nebo hluboké, na lisování se ztenčením stěny a bez ztenčení stěny. Podle tvaru výlisku můžeme také lisování dělit na tažení rotačních a nerotačních součástí.



Obr. 8 – Technologické způsoby tažení [17]

Popis obrázku:

Metoda A, B - tažení bez přidržovače

Metoda C, D - tažení s přidržovačem

Metoda E – zpětné tažení

Metoda F – tažení se ztenčením stěny

Metoda G – zužování

Metoda H – rozšiřování

Metoda I – lemování (přetahování)

Metoda J - napínání

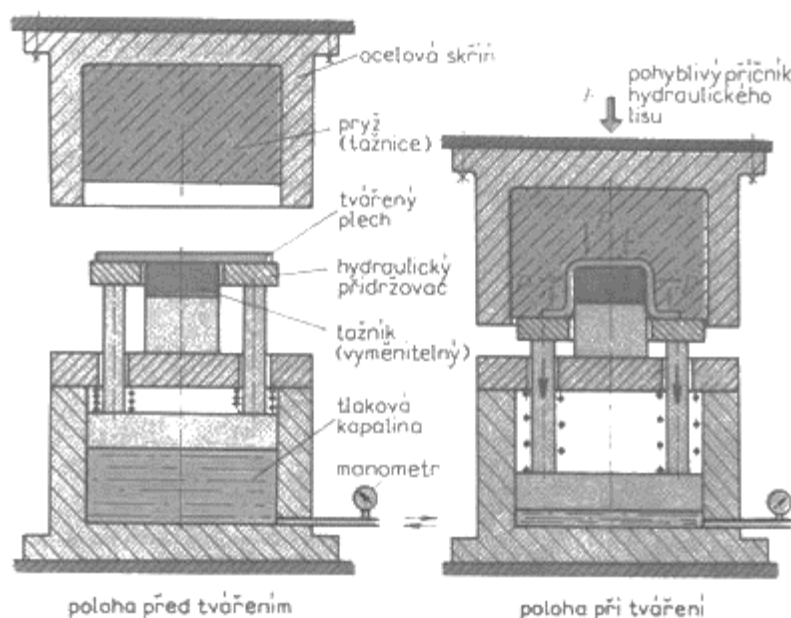


### 2.1.1 Speciální metody tažení

Speciální metody tažení používají místo kovového nástroje i jiné prostředí, například pryž, či kapalinu. Nevýhodou této metody je vysoká cena způsobu výroby. Výhodou pak kompatibilitnost metody, kde nám pryž nahradí i několik tvarů nástrojů.

#### 2.1.1.1 Metoda tažení pryží

Princip této metody spočívá v použití pryžové tažnice namísto kovové tažnice, která má výšku minimálně trojnásobně větší než samotný lisovaný díl. Tato výška pryže je tak volena s ohledem na opotřebování, kdybychom měli pryž menší, rychleji by se opotřebovala.



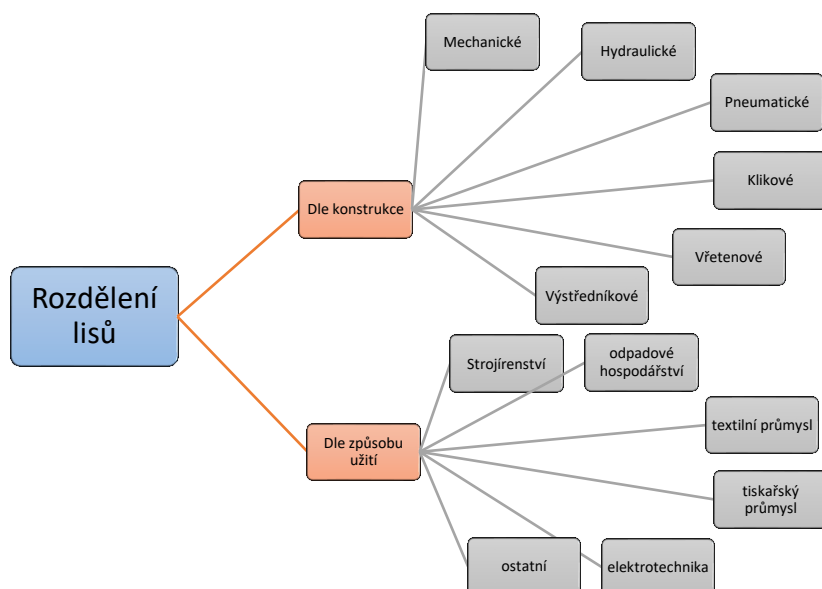
Obr. 9 – Schéma technologie tažení pryží [17]

#### 2.1.1.2 Metoda tažení kapalinou

Tato metoda je podobná metodě tažení pryží, pryž je ale nahrazena kapalinou. Kapalina je umístěna mezi ocelovou skříní nástroje a tenkou pryžovou deskou. Tlak kapaliny se pak reguluje ventily. Cena samotné technologie je velmi vysoká.

## 2.2 Přehled lisů

Existují různé druhy, velikosti typy a způsoby použití lisů. Lisy jsou nejčastěji používány ve strojírenském průmyslu, dále jsou lisy používány v elektrotechnickém průmyslu, polygrafii, textilním průmyslu, v odpadovém hospodářství, tiskařském průmyslu a v neposlední řadě také průmyslu potravinářském.



Obr. 10 – Přehled rozdělení lisů

### 2.2.1 Největší výrobci lisů

Mezi největší výrobce lisů v České republice patří např. firma Žďas a TS Plzeň a.s. Mezi tři přední světové výrobce lisů lze zařadit firmy Erfurt, Muller či Schuler.

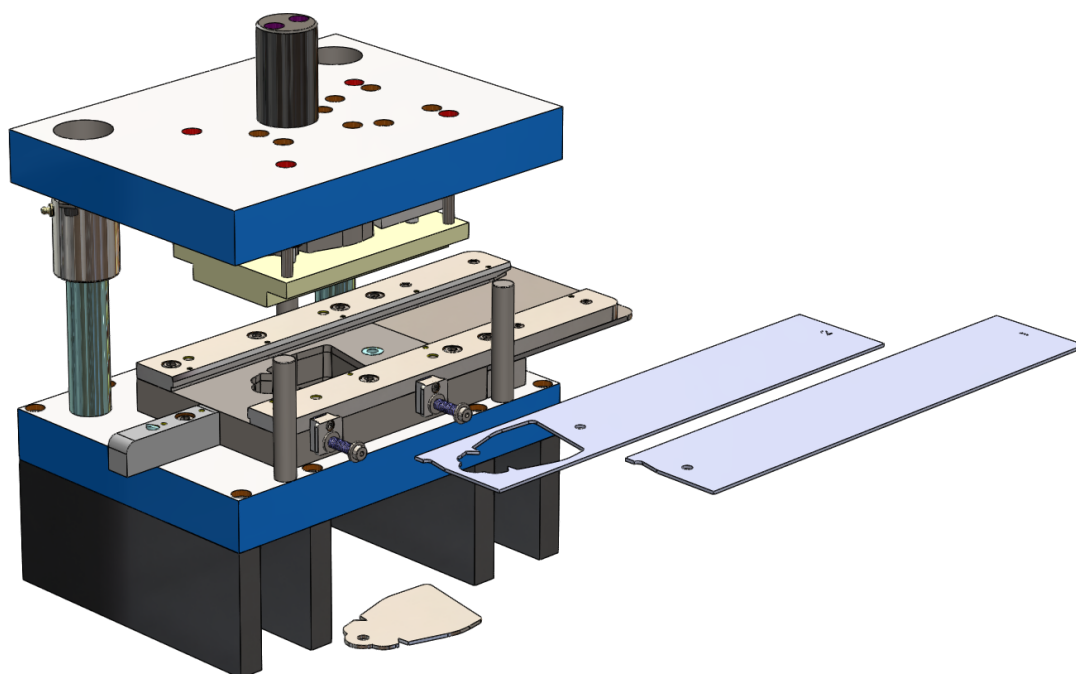


Obr. 11 – Lisy vybraných firem [13]

## 2.3 Lisovací nástroje

Lisovací nástroje můžeme rozdělit dle způsobu jejich užití a to na nástroje sloužící pro tah, ohyb či stříh. Lze také nástroje rozdělit na lisování kovových a nekovových materiálů, tato DP se však bude zabývat pouze lisováním materiálu kovových.

Lisovací nástroje musí být velmi přesné a jejich funkční části vyrobeny z nástrojových ocelí. Funkční povrch dílů nástroje je obvykle napovlakován kvůli snížení tření a zvýšení tvrdosti. Lisování je otázkou velkosériové výroby a nástroj tak za svoji životnost musí vyrobit i několikaset tisícovou výrobu a musí být bezpečný, jelikož tlaky, které jsou na nástroje vyvíjeny, jsou v řádu i několika set tun. Nástroje musí být navrženy tak, aby jejich údržba byla co nejjednodušší a jejich variabilita co největší.



Obr. 12 – Lisovací nástroj pro stříh plechového dílu

### 2.3.1 Největší výrobci lisovacích nástrojů v ČR

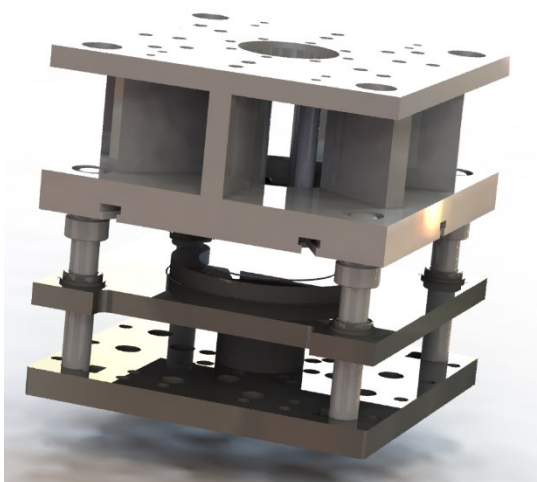
Mezi největší výrobce lisovacích nástrojů v České republice patří firmy FORMETAL, Žďas a.s, Uniron, JBN, Fortell, Tooltech, KVfinal s.r.o, TPL, Tryon, Hmb a další. Tyto firmy se zabývají jak výrobou nástrojů tažných, tak i nástrojů na ohyb a stříh, včetně postupových nástrojů na stříh, a tažných nástrojů na více tahů.

### 3. Uvedení do problematiky návrhu

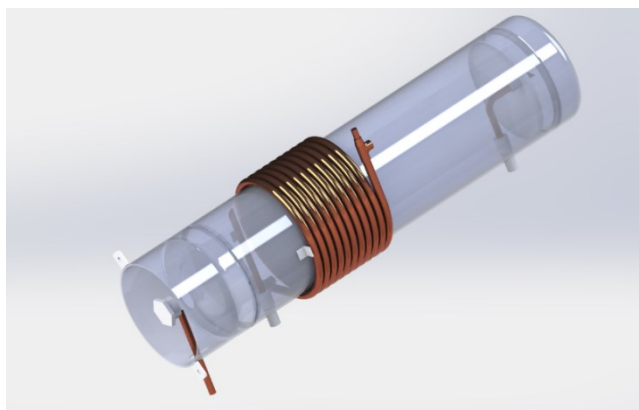
Práce se bude zabývat kompletním návrhem lisovacího nástroje na víčko o výšce 70mm, vyrobené na jeden tah.

Víčko, které bude nástroj vyrábět, bude součástí tlakové nádoby. Řešená tlaková nádoba slouží jako olejový separátor o pracovním tlaku 3,5 MPa a vnitřním objemu 17 litrů. Tlaková láhev bude vyrobena do pracovních podmínek o nejnižší teplotě -10 °C a nejvyšší teplotě +100 °C.

Vzhledem k tomu že se tlaková láhev bude dodávat na evropský trh, musí být vyrobena dle veškerých platných evropských norem tzn. veškeré komponenty musí být navrženy v souladu s těmito směrnici. Rozměry tažníku a tažnice budou tedy závislé na tomto víčku.



Obr. 13 – Zobrazení řešeného nástroje



Obr. 14 – Zobrazení tlakové láhve včetně vnitřních komponent

### 3.1 Postup řešení výroby víčka

Rozvinutý tvar víčka neboli blank se bude nejprve vystřihávat na lise, poté se tento kulatý vystřihnutý tvar bude vkládat do nástroje na lisu, kde bude jedním tahem vylisován do podoby víčka, následně půjde víčko na zarolování, aby se víčko mohlo jednoduše zasunout do nádoby a bezpečně s barelem svařit.

#### 3.1.1 Problematika směrnice PED 97/23/EC

Chceme-li vyrábět tlakové láhve v Evropě a jiných zemích, které tyto směrnice uznávají, musí tlaková láhev splňovat veškeré požadavky plynoucí z této normy. Na území České republiky platí však zákon č. 22/1997 Sb. a NV č. 26/2003 Sb. Který je však plně harmonizován s normami PED 97/23/EC.

Tyto normy nám určují jak tloušťku veškerých materiálů pod tlakem tlakové nádoby, ale i požadavky na tepelné opracování, destruktivní a nedestruktivní testy, svařovací plán, svařovací dozor ale také postupy nebo nároky na svářeče který tlakovou láhev svaří.

Pokud má tlaková láhev jako celek splňovat tyto požadavky, musí se již v prvotní fázi také navrhnout správná velikost, tloušťka tvar a materiál použitého víčka k této tlakové nádobě.

#### 3.1.2 Tvar víčka dle normy DIN 28011

Toristférický tvar víčka je dán normou DIN 28011. Existují i jiné normy např. ASME, SAE, apod. Norma DIN 28011 je však nejpoužívanější normou pro výrobu tlakových víček v Evropě.

Existují i jiné typy tvaru víček a to tvar hemisférický, rovný, či kónický. Né však všechny tyto typy jsou vhodné pro použití při výrobě tlakových nádob.



Obr. 15 – Další tvary víček

### 3.2 Výpočet hlavních rozměrů víčka

Norma DIN 28011 předepisuje velikosti zaoblení a výšku víčka v závislosti na vnějším průměru víčka a to v těchto vztazích:

$$R_1 = D = 168,3 \text{ mm}$$

$$R_2 = D \times 0,1 = 16,8 \text{ mm}$$

$$h_1 \geq 3,5 \times t \quad (\text{vyhovuje, velikost neřeším, jelikož celková zadaná výška je 70mm})$$

Kde:

$D$  – vnější průměr víčka [mm]

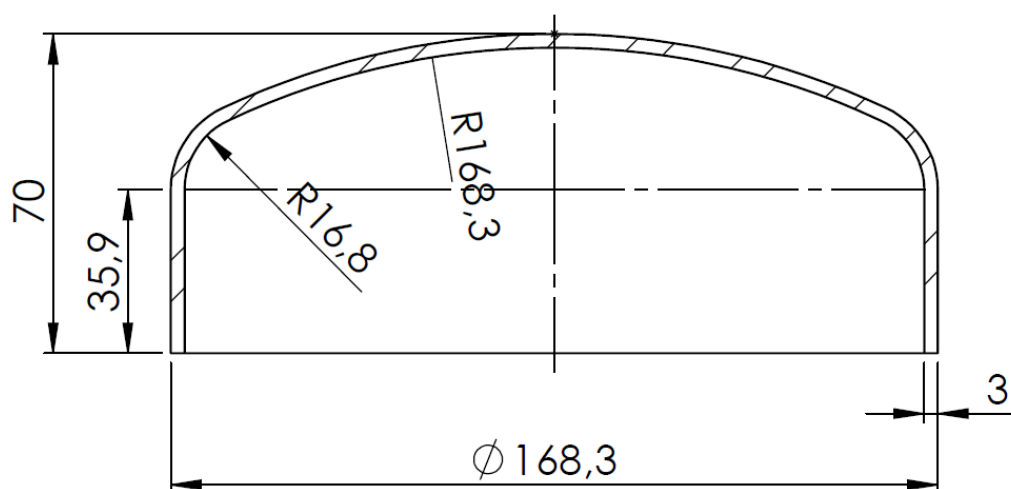
$R_1$  – poloměr zaoblení vnitřní vrchní strany víka [mm]

$R_2$  – poloměr zaoblení vnitřní boční strany víka [mm]

$h_1$  – výška nezaoblené části víčka [mm]

$t$  – tloušťka materiálu [mm]

Vnitřní rozměry tohoto víčka, budou kopírovat tažnici která bude vyrobená podle těchto rozměrů.



Obr. 16 – Kótované hlavní rozměry víčka

### 3.3 Minimální tloušťka a materiál víčka dle normy

Minimální tloušťka víčka závisí na PED kategorii dané nádoby, na tlaku v nádobě a také na její velikosti. Pro lisované víčko navrhuji materiál P265GH, který je schválený a plně určený pro výrobu tlakových zařízení dle směrnice DIN EN 10028-2/93.

Materiál byl otestován, testovací dokument materiálu je přiložen v příloze.

Tab.č.1 – Vlastnosti materiálu P265GH [13]

W Nr.  
(číslo materiálu)  
1.0425

Nelegovaná jakostní ocel  
pro vyšší teploty

OCEL  
Kurzname (značka)  
P265GH / H II

Chemické složení [hm. %]

C	Si	Mn	P	S	Al celk.	Cr
max 0,20	max 0,40	0,50–1,40	max 0,030	max 0,025	min 0,020	max 0,30
Cu <sup>1)</sup>	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Cr+Cu+Mo+N
max 0,30	max 0,08	max 0,010	max 0,30	max 0,03	max 0,02	max 0,70

Normy DIN

DIN EN 10028-2/93 – ploché výrobky z ocelí pro tlakové nádoby a zařízení

Mechanické vlastnosti

Rozměr t, d [mm]	≤ 16	17–40	41–60	61–100	101–150	> 150
Stav	normalizačně žíhaný					
Mez kluzu R <sub>eH</sub> [MPa] min	265	255	245	215	200	<sup>2)</sup>
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	410–530				400–530	<sup>2)</sup>
Tažnost A <sub>5</sub> [%] min	23			22		<sup>2)</sup>
Kontrakce Z [%]	–					–
Nárazová práce KV <sup>0</sup> [J] min	27 <sup>3)</sup>					<sup>2)</sup>
Tvrdost HB	–					–

Mez kluzu R<sub>p0,2</sub> [MPa] při zvýšených teplotách

Teplota [°C]	50	100	150	200	250	300	350	400	
Mez kluzu	t ≤ 60 mm	234	215	205	195	175	155	140	130
	t = 61–100 mm	207	195	185	175	160	145	135	125
	t = 101–150 mm	192	180	175	165	155	135	130	120

Fyzikální vlastnosti

Hustota ρ [kg · m<sup>-3</sup>]

7 850

### 3.3.1 Výpočet minimální tloušťky materiálu víčka

$$t_{min} = \frac{p_{pr} \times R_1}{2 \times Re_{P265GH} - p_{pr}} = \frac{5 \times 168,3}{2 \times 265 - 5} = 1,602 \text{ mm}$$

Kde:

$p_{pr}$  – pracovní tlak tlakové láhve [MPa]

$R_1$  – poloměr zaoblení vnitřní vrchní strany víka [mm]

$Re_{P265GH}$  – mez kluzu materiálu P265GH [MPa]

### 3.3.2 Výpočet minimální tloušťky materiálu víčka včetně přídavků

Výpočet tloušťky plechu je navýšen korozním přídavkem, který je závislý především na prostředí, ve kterém bude tlaková láhev pracovat. Vzhledem k tomu že zákazníkem není specifikováno prostředí, ve kterém se tlaková láhev bude používat, je volen korozní přídavek 0,3 mm. Výpočet je také zvýšen o toleranci tloušťky plechu, která je pro tloušťku 3 mm pro daný materiál, udávaná výrobcem  $\pm 10\%$  z tloušťky plechu.

$$t_p = t_{min} + c_1 + c_2 = 1,602 + 0,3 + 0,3 = 2,2 \text{ mm}$$

Kde:

$c_1$  – tolerance tloušťky plechu [mm]

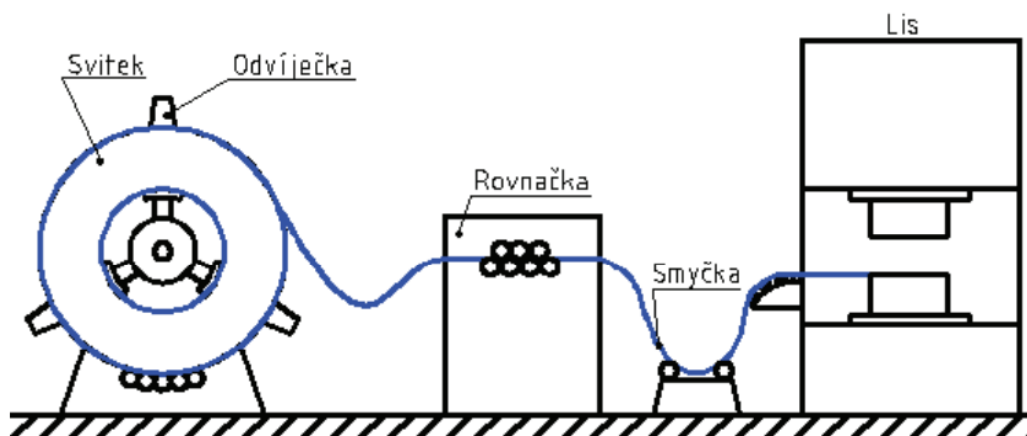
$c_2$  – korozní přídavek [mm]

**Volím minimální tloušťku plechu  $t=3\text{mm}$ , vzhledem k tomu že při lisování dochází k nerovnoměrnému rozložení tloušťky materiálu.**



#### 4. Střih blanku víčka

Střih blanku víčka se bude provádět pomocí hydraulického lisu ERFURT USTA.4A R 17 2400. Schéma vyobrazení způsobu stříhu blanku ze svitku je vyobrazeno na obr.viz níže. Svitek je umístěný v odvíječce. Svitek se na odvíječku umísťuje pomocí mostového jeřábu. Následně je svitek vložen do rovnačky, která svitek narovná, a přes smyčku je svitek umístěn do hydraulického lisu, kde je stříhán na kruhové blanky.



Obr. 17 – Schéma vystřihování kruhového blanku



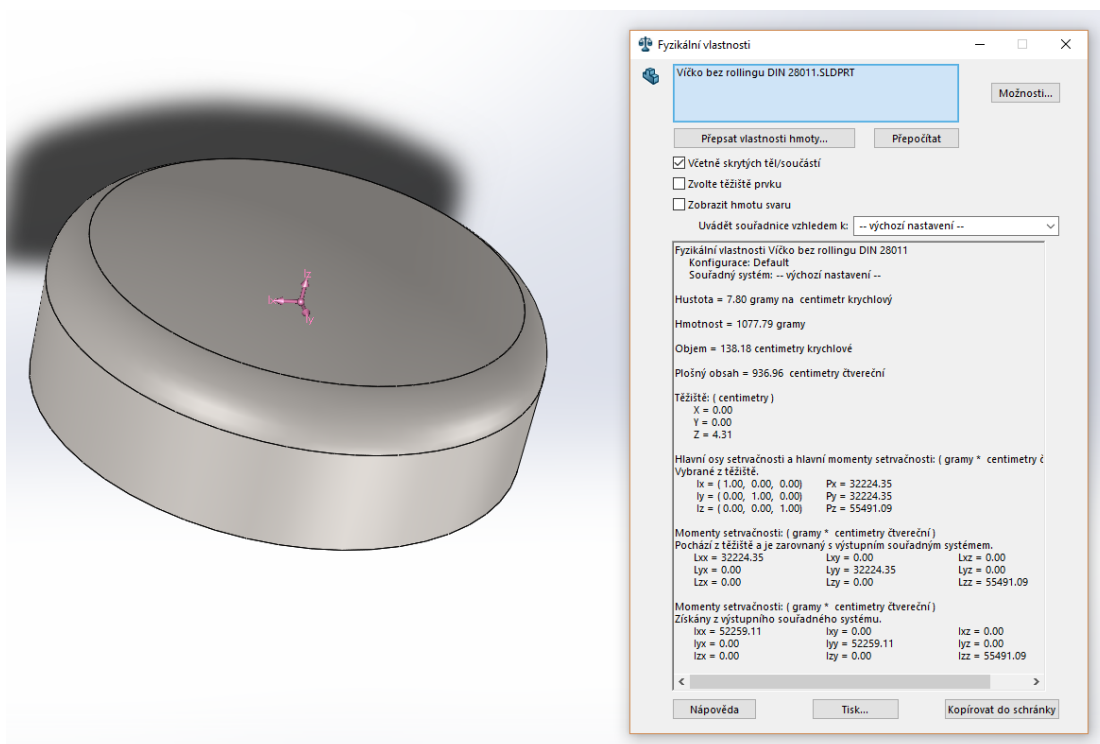
Obr. 18 – Lis ERFURT USTA.4A R

## 4.1 Další možnosti způsoby výroby blanku

Pro sériovou výrobu se jednoznačně vyplatí způsob stříhání blanků na lise. Kdyby však podnik např. z kapacitních důvodů nemohl stříhat blanky na lise a musel by vyrobit dávku např. několik set víček urgentně, mohla by se využít technologie vypalování blanků laserem, při kterém by se blanky nedělaly ze svitku, ale z rovného pásu. Tento způsob výroby se provádí i např. ve stavu testování kdy je potřeba doladit přesný průměr blanku, jelikož lisované víčko není rovnoměrné.

## 4.2 Určení průměru blanku

Určení velikosti průměr blanku by se mohlo dělat poččetně za použití Guldinovy věty, Pokud je již vymodelovaný model v 3D kreslícím programu, program automaticky spočte objem, díky kterému pak pomocí zákona o zachování hmotnosti mohu spočítat průměr blanku, který se bude vkládat do lisovacího nástroje.



Obr. 19 – Fyzikální vlastnosti víčka generovaný programem SolidWorks

### 4.3 Výpočet průměru blanku

Dle hodnot z programu SolidWorks je patrné že objem konečného víčka je 138 180 mm<sup>3</sup>. Tento objem bude mít i výsledný blank víčka.

$$V_{bl} = V_v = 138\,180\,mm^3$$

Objem blanku je dán vztahem:

$$V_{bl} = \frac{\pi \times D_{bl}^2}{4} \times t$$

Ze vzorce byl vyjádřen vztah pro určení průměru blanku:

$$D_{bl} = \sqrt{\frac{4 \times V_{bl}}{t \times \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 138\,180}{3 \times \pi}} = 242\,mm$$

Kde:

$V_{bl}$  – objem blenku [mm<sup>3</sup>]

$V_v$  – objem víčka [mm<sup>3</sup>]

$D_{bl}$  – průměr blanku [mm]

$t$  – tloušťka víčka [mm]

Po vylisování je hrana víčka zvlněná, z praxe vím, že pro tento průměr víčka, danou tloušťku materiálu a způsobu použití víčka, nebudeme muset hranu víčka zarovnávat, jelikož zvlnění a konečný tvar tohoto víčka je plně vyhovující. Pokud by však byla předepsaná toleranci kolmosti, či rovinnosti hrany či určitá přesnost, museli bychom průměr blanku zvýšit o hodnotu přístřihu, aby hrana víčka nebyla zvlněná.

## 5. Kontrolní výpočty nástroje

Při návrhu musí být proveden výpočet celkové tažné síly k zapotřebí vytažení víčka, pro zjištění zda lis, na který bude nástroj konstruován, vydrží dané namáhání.

### 5.1 Výpočet tažné síly

$$F_t = \pi \times D_s \times t \times Rm_{P265GH} \times K_t = 3,14 \times 205,15 \times 3 \times 530 \times 0,55 = 563\,613\,N$$

Kde:

$F_t$  – Tažná síla [N]

$D_s$  – střední průměr výtažku [mm]

$Rm_{P265GH}$  – mez pevnosti materiálu P265GH [MPa]

$t$  – tloušťka taženého materiálu [mm]

$K_t$  – opravný silový součinitel vlivu tlaku na velikost tažné síly [–]

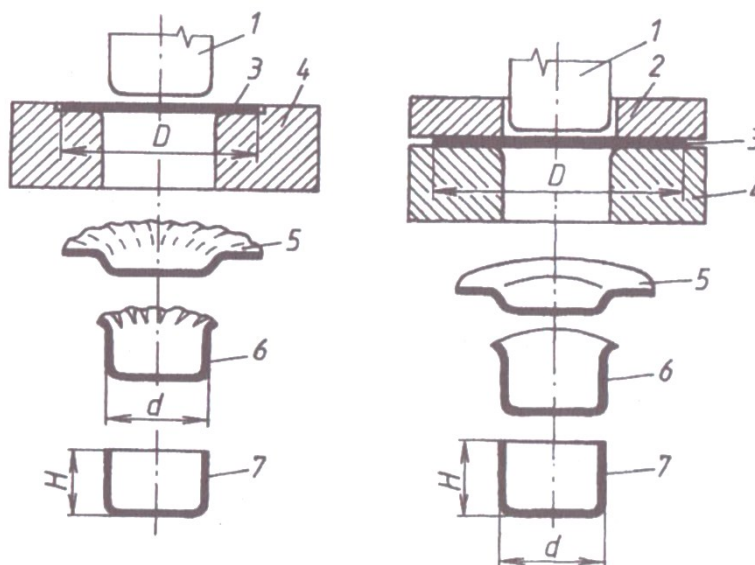
Tab. č.3 hodnota součinitele tažné síly [19]

$d : D$	0,550	0,575	0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,750	0,775	0,800
$K_t$	1,00	0,93	0,86	0,79	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40

Součinitel  $K_t$  se určí vzthem poměrů  $D/D_{bl}$ , jeho hodnota pro hodnotu  $168,3/242=0,69$  je 0,55.

## 5.2 Použití přídržovače

Přídržovač brání vzniku zvlnění taženého materiálu tak, že svou plochou přidrží blank. Platí vztah čím tenčí plech je, tím k většímu zvlnění taženého materiálu dochází. Přídržovač není potřeba vždy.



Obr. 20 – Znázornění tažení bez a s přídržovačem

Popis obrázku:

1- tažník, 2 – přídržovač, 3 – polotovar, 4- tažnice, 5- stav materiálu v průběhu tažení, 6- výtažek, 7 – ostřížený výtažek

### 5.2.1 Podmínka použití přídržovače:

V případě že vzorec vyjde pravdivě, je vyžadováno použití přídržovače.

$$\alpha \geq \frac{100 \times D}{D_{bl}} \quad 81,1 \geq \frac{100 \times 168,3}{242} \quad 81,1 \geq 69,5 \rightarrow \text{POUŽITÍ PŘIDRŽOVAČE}$$

Kde:

$\alpha$  – součinitel použití přídržovače [–]

$D$  – vnější průměr víčka [mm]

$D_{bl}$  – průměr blanku [mm]

Součinitel použití přidržovače se vypočte ze vztahu:

$$\alpha = 50 \times \left( Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_{bl}}} \right) = 50 \times \left( 1,9 - \frac{\sqrt{3}}{\sqrt[3]{242}} \right) = 81,1$$

Kde:

$Z$  – materiálová konstanta, pro výtazek z oceli je hodnota 1,9 [–]

$t$  – tloušťka víčka [mm]

$D_{bl}$  – průměr blanku [mm]

**Při tažení daného víčka, bude použita technologie tažení s přidržovačem.**

### 5.2.2 Výpočet přidržovací síly

$$F_p = p_p \times S_p = 219\,318 = 28\,638\,N$$

Kde:

$F_p$  – přidržovací síla [N]

$p_p$  – přidržovací tlak [MPa] v praxi volíme 1 – 3 MPa

$S_p$  – účinná plocha přidržovače [mm<sup>2</sup>]

Účinná plocha přidržovače:

$$S_p = \frac{\pi \times D_{bl}^2}{4} - \frac{\pi \times (D_t + 2 \times t + 2 \times R_t)^2}{4} = \frac{\pi \times 242^2}{4} - \frac{\pi \times (168,3 + 2 \times 3 + 2 \times 5)^2}{4} \\ = 19\,318\,mm$$

Kde:

$D_{bl}$  – průměr blanku [mm]

$R_t$  – poloměr zaoblení hrany tažnice [mm]

$D_t$  – průměr tažníku [mm]

$t$  – tloušťka blanku [mm]

### 5.3 Výpočet celkové tažné síly

Celková tažná síla lisu se skládá ze síly tažné a ze síly působící na přidržovač.

$$F_c = F_t + F_p = 563\,613 + 28\,638 = 592\,251\text{N}$$

Kde:

$F_p$  – přidržovací síla [N]

$F_t$  – tažná síla [N]

### 5.4 Výpočet práce potřebné k tažení

$$A = F_c \times h \times k_p = 592\,251 \times 70 \times 0,8 = 33\text{ MJ}$$

$F_c$  – celková tažná síla lisu [N]

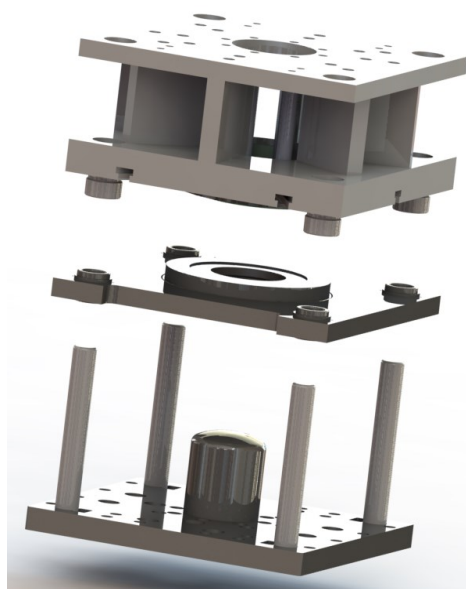
$h$  – výška víčka

$k_p$  – koeficient závislý na pracovním diagramu a ploše tahu [–] [13]

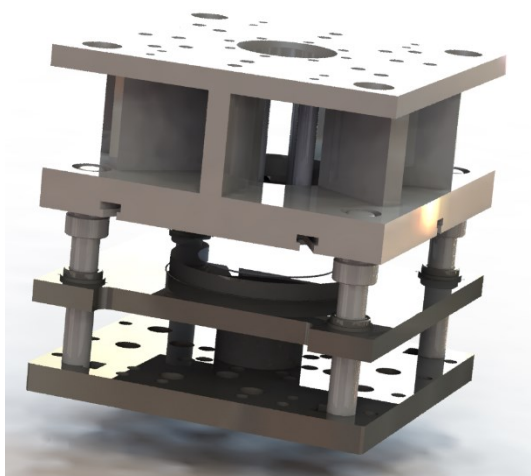
Celková tažná síla vyšla 592 251N. Znamená to, že při vyrobení takového víčka potřebujeme lis o síla minimálně 60-ti tun. Lis, pro který je nástroj navržen má sílu 400 tun, a tedy plně vyhovuje danému návrhu.

## 6. Konstrukce nástroje

Nástroj můžeme rozdělit na tři hlavní díly a to spodní díl, střední díl a vrchní díl. Nástroj bude zhotoven tak aby byla zaručena jeho přestavitelnost a universálnost. Jeho spodní deska bude tedy kompatibilní s více typů desek hydraulických lisů, tažník a tažnice bude vyjímatelná a lehce vyměnitelná. Celý nástroj bude udělán tak aby byla zaručena jeho tuhost a hlavní díly nástroje budou zhotoveny z velmi drahé nástrojové oceli třídy 19 573, která se bude kalit a kde se hlavní funkční plochy nástroje budou PVD povlakovat pro snížení tření v průběhu procesu tažení blanku.



Obr. 21 – Rozložení nástroje na jednotlivé díly

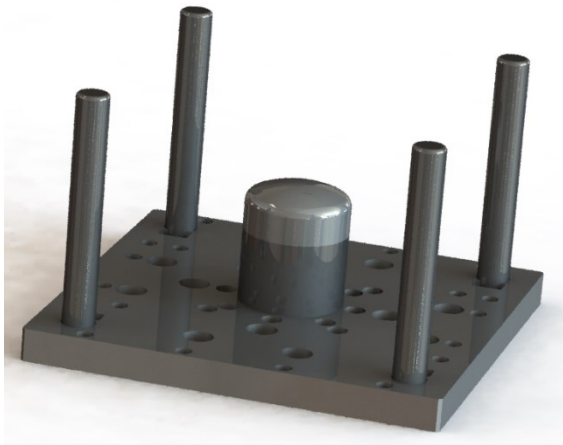


Obr. 22 – Celkový pohled na složený nástroj



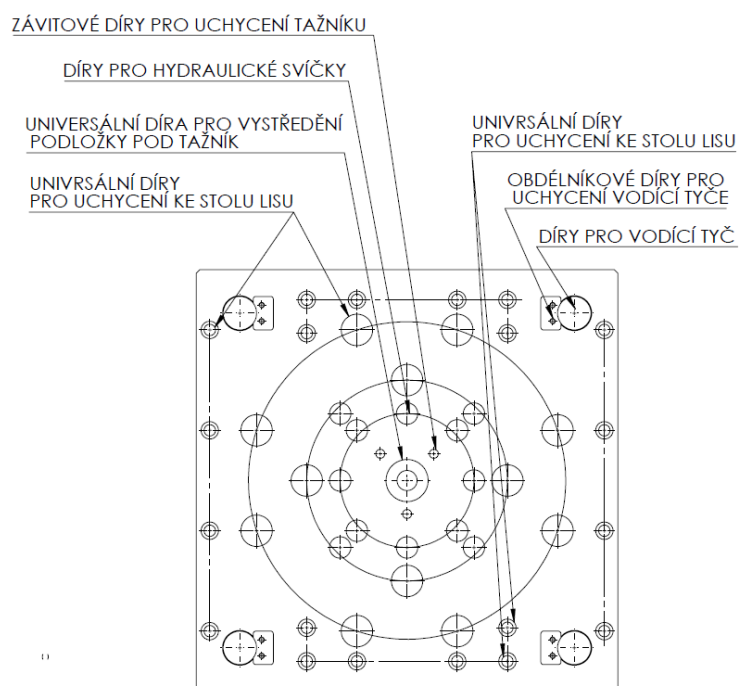
## 6.1 Konstrukce spodního dílu nástroje

Spodní díl nástroje je tvořen základní deskou, v které jsou usazeny vodící tyče a tažník. Deska je přichycena v hydraulickém lisu napevno, několika pevnými šrouby ve spodní části lisu.



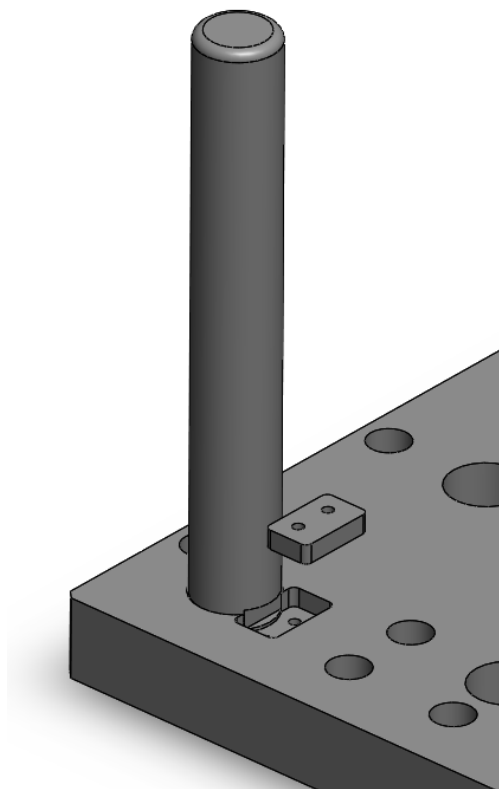
Obr. 23 – Spodní díl nástroje

Základová deska je vyrobena z materiálu 11 523 a je dělaná tak, aby byla kompatibilní nejen se spodním stolem daného hydraulického lisu, ale i dalších lisů, v kterých by nástroj mohl pracovat. Z obrázku níže je patrné, podle čeho jsou voleny díry. Pokud by např. z neurčených důvodů skončila produkce řešeného víčka velmi brzy a nástroj by již neměl proč vyrábět, deska by se mohla použít pro jiné typy nástrojů a lisů.



Obr. 24 – Volba děr základové desky

Vodící tyč je vyrobena z materiálu 11 523 a k základové desce je připevněna úchytem se závity a šrouby M8 velikosti 30mm. Vodící tyč je uložena v desce s uložením H7/h6 tzn. přesným uložením. Tyč je po své funkční ploše broušena na drsnost Ra 0,8 jelikož v ní budou jezdit pouzdra, která jsou uložena ve středním a vrchním díle.



Obr. 25 – Uložení vodící tyče

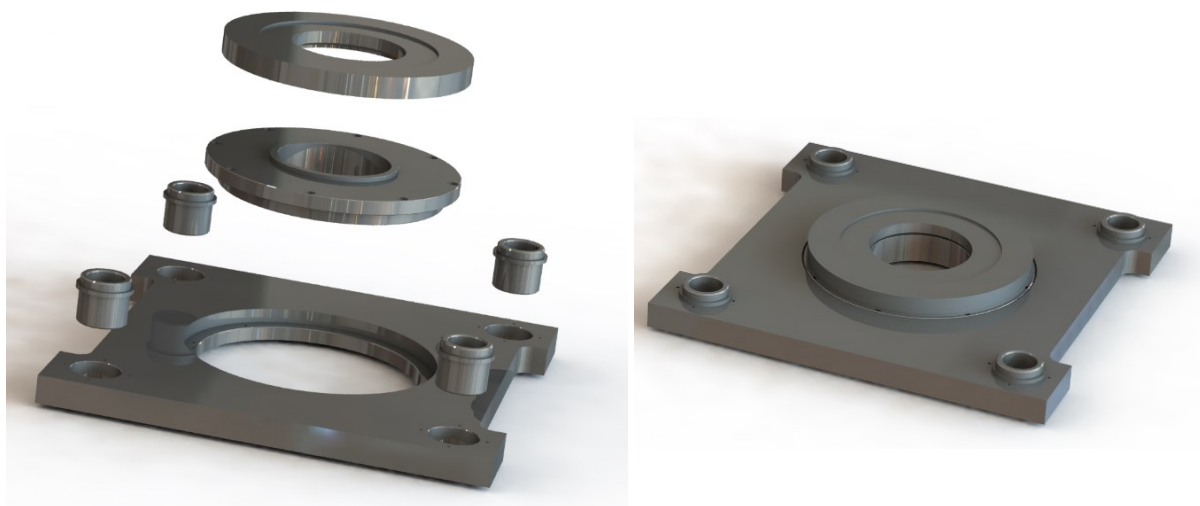


Obr. 26 – Konstrukce tažníku

Tažník je složen ze tří částí - stojánkem pod tažník, středícím čepem a tažníkem. Rozměry tažníku jsou dány vnitřními rozměry řešeného víčka. Tažník je konstruován z více dílů, aby se ušetřily náklady spojené s výrobou nástroje. Vzhledem k tomu že Tažník bude extrémně namáhán, je vyroben z oceli 19 573 kalené na 58HRC a jeho povrch je chráněn PVD povlakem, aby se snížilo tření mezi taženým materiálem a povrchem tažníku. Stojánek pod tažník bude vyroben z oceli 11 523. Pro představu je výroba tažníku zhruba 5-ti násobně nákladnější než výroba stojánku. Středící čep bude zhotoven z materiálu 11 523, a tažník na něm bude uložen s přesností H7/h6. Funkční plochy čepu budou také broušeny na Ra 0,8. Tažník je spojen se stojánkem a základovou deskou pomocí třech šroubů M10x160.

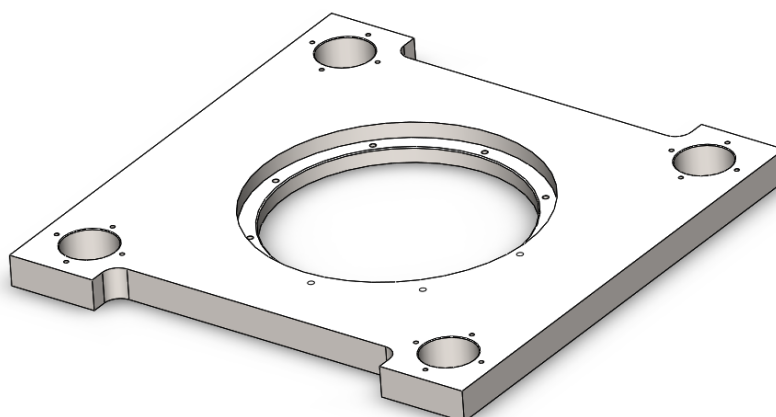
## 6.2 Konstrukce středního dílu nástroje

Střední díl nástroje je složen ze středové desky, v které jsou uloženy vodící pouzdra a přidržovač se stojánkem. Střední díl je veden vodícími tyčemi. Je položen na hydraulických svíčkách, které jsou uloženy ve stole lisu. Na střední díl nejprve tlačí díl horní a to směrem dolů, nazpět je veden hydraulickými svíčky, které se v lise nastaví na patřičný zpětný tlak.



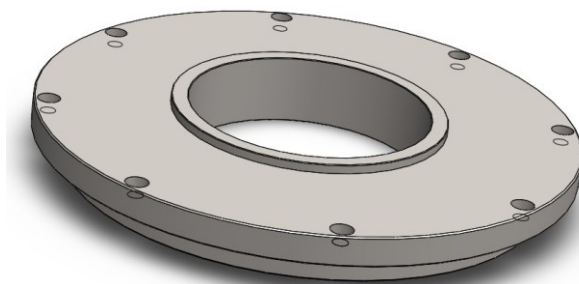
Obr. 27 – Střední díl nástroje v rozloženém a složeném stavu

Středová deska je vyrobena z materiálu 11 523, má tloušťku 39 mm a její styčné plochy jsou broušeny na Ra 1,6. Deska obsahuje celkem 5 děr, 4 díry pro nalisované pouzdra a díru pro stojánek na přidržovač, který se k desce přichytí 8mi šrouby M10.



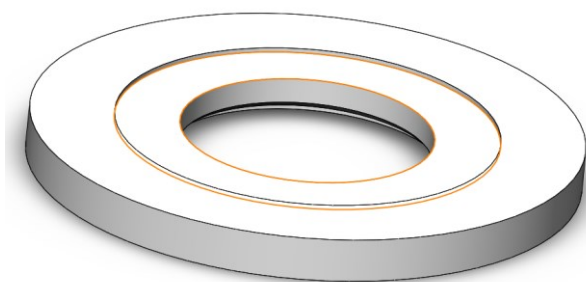
Obr. 28 – Středová deska

Stojánek přídržovače je vyroben z materiálu 11 523 a je přichycen k vodící desce (jak zde již bylo zmíněno) pomocí osmi šroubů M10. Stojánek je v nástroji z toho důvodu, aby byla možnost na nástroji vyrobit víčko jiné tažené výšky. V tomto případě by se pouze nasadil na stojánek jiný přídržovač. Před samotným vyráběním by se musel nastavit lis na jinou výšku dojezdu.



Obr. 29 – Stojánek přídržovače

Přídržovač je vyroben z materiálu 19 573 kalený na 58HRC a je pouze nasazen na stojánek s přesným uložením H7/h6. Jeho funkční plocha je PVD povlakována. Průměr díry pro blank je na přídržovači zvětšen o 1 mm na průměr 243 mm. Je to z toho důvodu, jelikož vložené blanky nemají vždy krásně vyhlazený povrch. Kdyby byl tento průměr napřesno tzn. průměr 242mm, nemusel by blank do díry přídržovače zapadnout.



Obr. 30 – Přídržovač

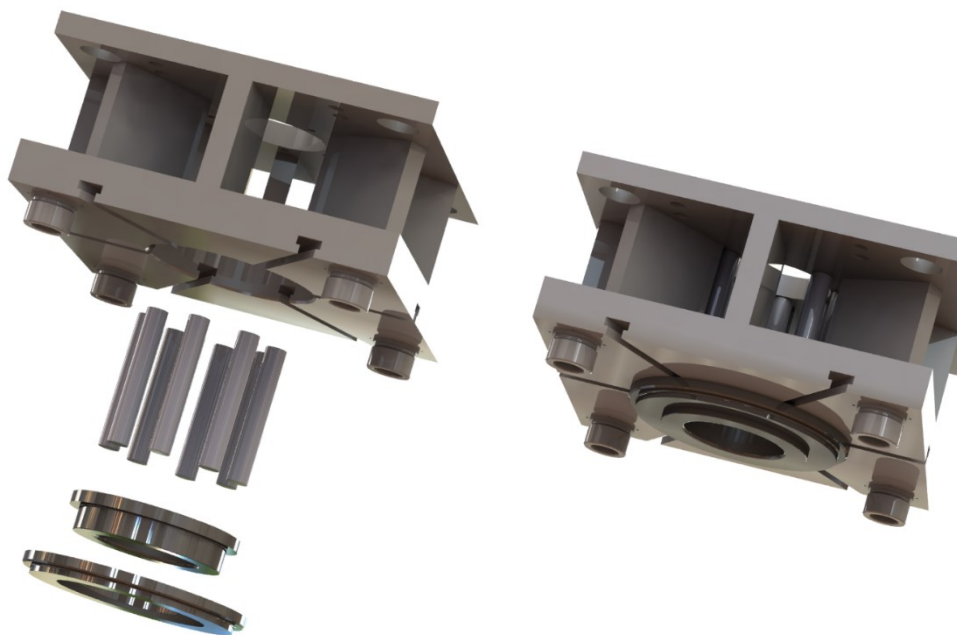


Obr. 31 – Pouzdro středové desky

Pouzdra jsou vyrobena z materiálu 11 523 a jsou v desce uložena uložením R7/h6 – přechodným uložením aby nedocházelo k vysunování pouzder v průběhu lisování. Funkční plocha pouzder je broušena na Ra 0,8. Vnitřní průměr pouzdra je dělán s uložením H7, jelikož pouzdra budou jezdit ve vodících tyčích.

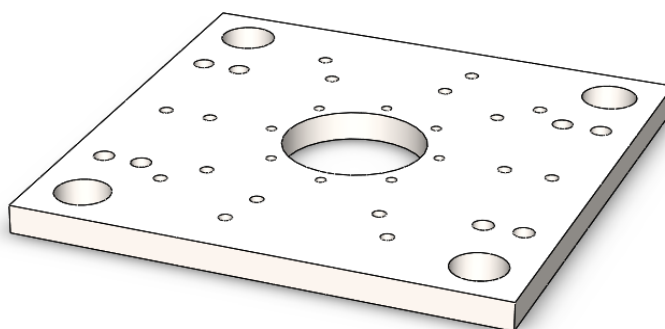
### 6.3 Konstrukce horního dílu nástroje

Horní díl nástroje je složen z vrchní desky, osmi výztuh, osmi podpěrných tyčí, desky tažnice, stojánku tažnice a čtyřmi kusy pouzder. Horní díl nástroje je v lise přichycen pomocí upínek díky drážkám ve tvaru T, které jsou přítomny na vrchní desce lisu. Z tohoto důvodu nemá vrchní deska žádné díry na přichycení.



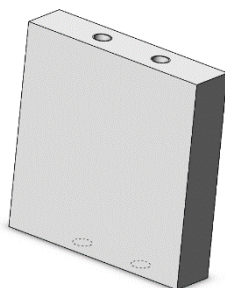
Obr. 32 – Horní díl nástroje v rozloženém a složeném stavu

Vrchní deska je vyrobena z materiálu 11 523 a má tloušťku 39 mm, je tedy téměř 2x tenčí než deska středová, a to z toho důvodu že tato deska je opřena o vrchní desku stolu lisu, a tím je její deformace přenášena na desku stolu.



Obr. 33 – Vrchní deska

Výztuhy jsou přišroubovány k vrchní a střední desce 32 kusy šroubů M16. Jejich funkční plocha je broušena. Výztuhy slouží především pro celkové zpevnění a dokonalou tuhost nástroje, jelikož lis klade na nástroj v průběhu procesu tažení obrovské síly.



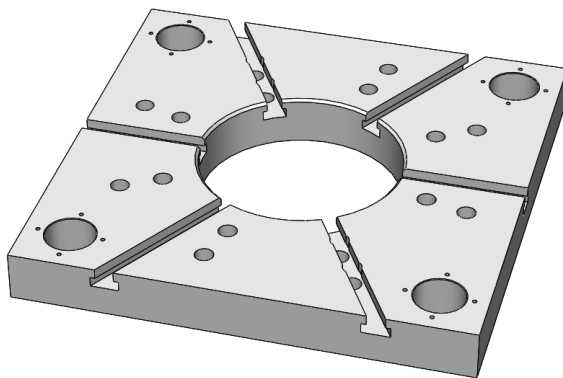
Obr. 34 – Výztuha

Podpěrné tyče jsou vyrobeny z materiálu 11 523. Jejich úkol je pouze rozložit síly působené na tažnici do vrchní desky nástroje.



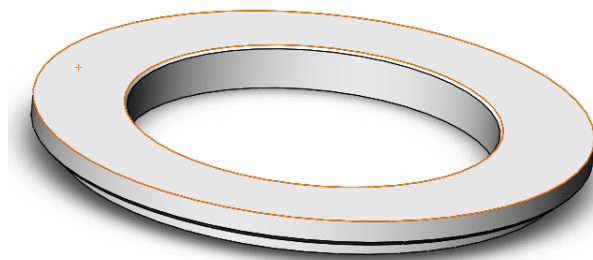
Obr. 35 – Podpěrná tyč

Střední deska je vyrobena z materiálu 11 523 a její tloušťka je 70 mm a to z toho důvodu jelikož na desku budou působit obrovské síly. Funkční plochy jsou broušeny stejně tak jako u předchozích desek. Obsahuje drážky pro T matice, a také díry na přichycení výztuh o velikosti pro šrouby M16. Jsou zde přichycena také pouzdra pro přesné vedení vrchního dílu.



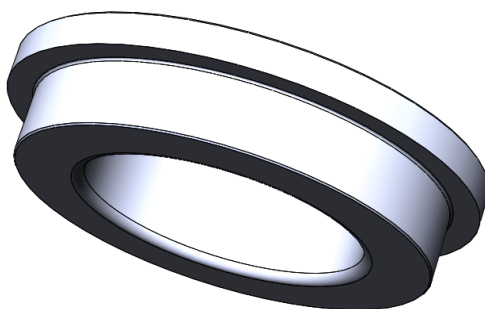
Obr. 36 – Střední deska

Stojánek tažnice je vyroben z materiálu 11 523 a je přichycen T maticemi velikosti M12, upínkou, šrouby M12 a pružnou podložkou ke střední desce.



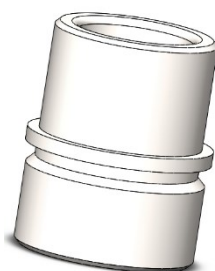
Obr. 37 – Stojánek tažnice

Tažnice vyrobena z materiálu 19 573 kalená na 58HRC je opřena o podpěrné tyče, a je přichycena stojánkem na tažnici. Stojánek je přítomen ze stejného důvodu, jak je tomu u stojánu přidržovače. Hlavní důvod je především vyměnit tažník za jiný a tím zaručit universálnost nástroje a s tím spojenou velmi vysokou ekonomickou úsporou nástroje do budoucna. Tažnice je namáhána ze všech dílu nejvíce.



Obr. 38 – Tažnice

Pouzdra jsou dělána stejně jako pouzdra ve spodním dílu, až na jejich odlišný tvar. Jsou vyrobena z materiálu 11 523 a jsou ve střední desce uložena přechodným uložením R7/h6.



Obr. 39 – Pouzdra střední desky

## 7. Popis nástroje při výrobě

V této práci je udělán velmi podrobný náhled na celý lisovací proces daného víčka, z kterého je zřetelně a jasně vidět jak celý lisovací nástroj pracuje.

Při vyobrazení tohoto náhledu včetně ostatních obrázků, byl použit program SolidWorks s nastavbovým programem PhotoView 360. Zobrazení je pro jasnou zřetelnost, vymodelováno v řezu a hlavní části nástroje, jsou odlišeny barevně. Před samotným náhledem na proces, je zpracováno také seřízení a mazání při tažení blanku.

### 7.1 Seřízení nástroje v lise

Nástroj v lise se před samotným spuštěním musí správně seřídít na správnou polohu a musí se nastavit velikost horní a spodní jízdy beranu. Před samotným zahájením výroby se také musí udělat testovací kus, který se řádně proměří, až poté se může začít vyrábět.

### 7.2 Mazání při tažení

Mazání se provádí pomocí nanesení větší vrstvy oleje na tažený blank. Mazání je prováděno na každém kuse, a blank před vložením do přidržovače musí být dobře naolejován. Většinou se olej nanáší štětcem popř. rozprašovačem.

Mazání může být také prováděno nanesením tuhého, či konzistentního maziva - tuku. Tato metoda se však používá při tažení složitých tažených tvarů, nebo v případě tažení barevných kovů

Barevné rozlišení jednotlivých hlavních částí nástroje:

ZELENÁ – TAŽNICE

ŽLUTÁ – TAŽNÍK

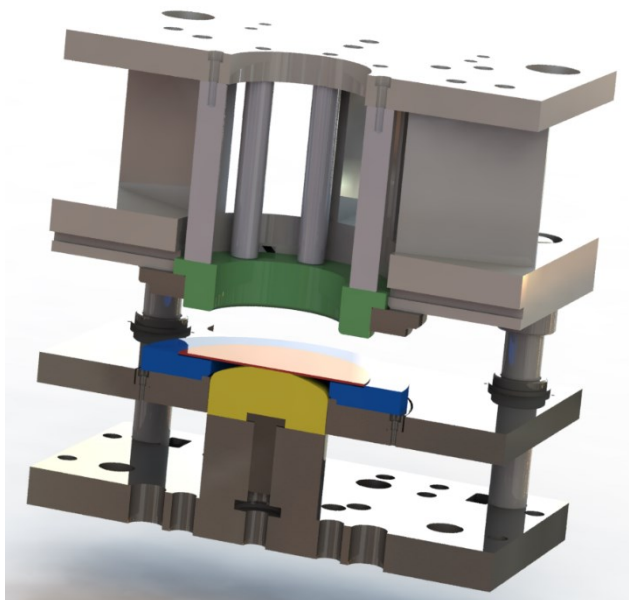
MODRÁ – PŘIDRŽOVAČ

ČERVENÁ – BLANK, MĚNÍCÍ SE VLIVEM PROCESU NA VÍČKO



### 7.3 První cyklus nástroje

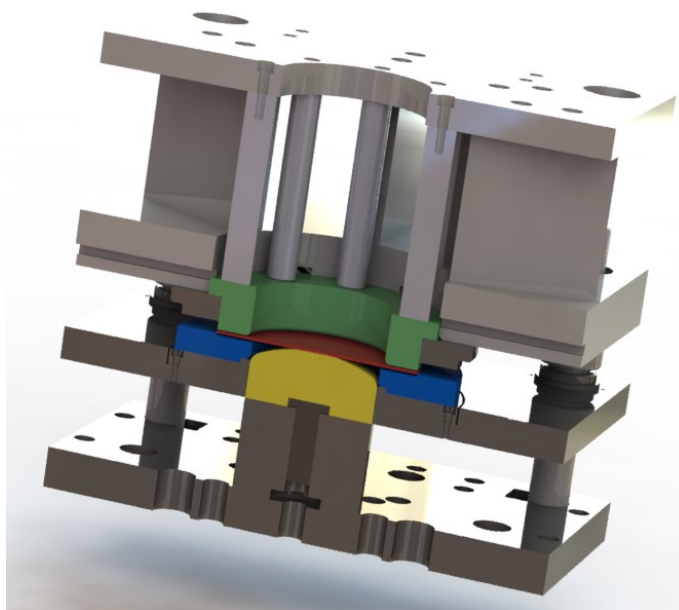
Horní díl nástroje je u prvního cyklu ve své nejvrchnější poloze. V prvním kroku, se položí kruhový blank na přidržovač, a spustí se proces lisování.



Obr. 40 – První cyklus nástroje v řezu

### 7.4 Druhý cyklus nástroje

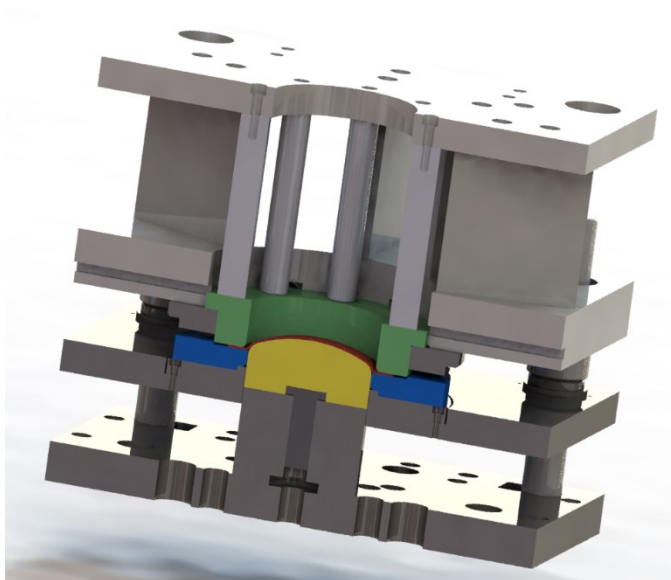
U druhého cyklu dochází pouze k najetí vrchního dílu nástroje na blank.



Obr. 41 – Druhý cyklus nástroje v řezu

## 7.5 Třetí cyklus nástroje

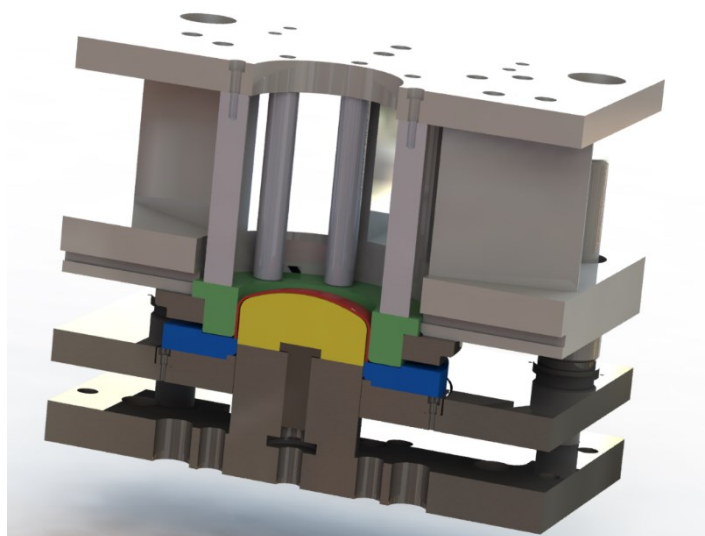
Při třetím cyklu začíná tažnice tlačit na kruhový blank. Blank je přidržován mezi tažnicí a přidržovačem. Silou beranu, která přetlačí sílu hydraulických svíček umístěných v lise, se vrchní díl spolu se středním dílem pohybují dolů, kde nastává trvalá deformace blanku a blank se mění na víčko.



Obr. 42 – Třetí cyklus nástroje v řezu

## 7.6 Čtvrtý cyklus nástroje

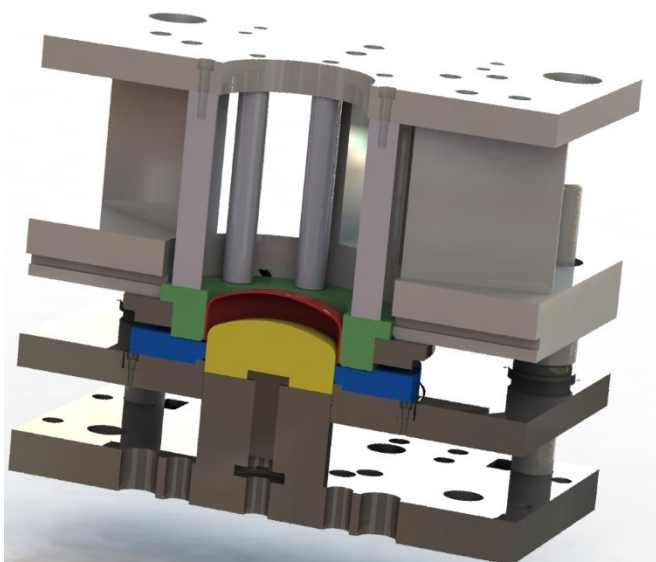
V tomto cyklu, se z blanku stává víčko, vhodné např. k výrobě tlakových lahví.



Obr. 43 – Čtvrtý cyklus nástroje v řezu

## 7.7 Pátý cyklus nástroje

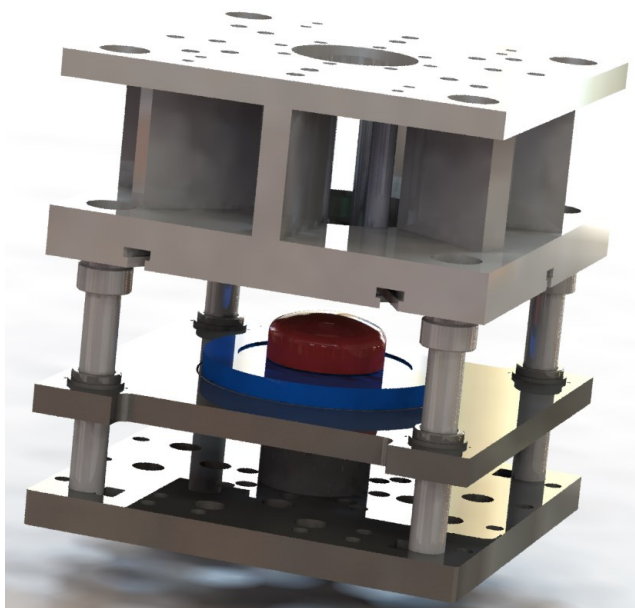
Nastává pohyb nahoru, kdy je vytažené víčko zvedáno jak středním dílem, na který tlačí síla svíček umístěných v lise, tak i horním dílem který je zvedán v beranu lisu.



Obr. 44 – Pátý cyklus nástroje v řezu

## 7.8 Šestý cyklus nástroje

Přidržovač se vrací na svou původní polohu. Víčko, které bylo vylišováno, je umístěno na přidržovači. Vrchní díl nástroje se vrací na svou původní polohu. Celý proces se může opakovat znovu.



Obr. 45 – Šestý cyklus nástroje

## 8. MKP analýza nástroje

MKP analýza nástroje se zaměřuje na dva nejvíce namáhané díly a to tažníku a tažnice. V analýze je vyhodnocen výsledný koeficient bezpečnosti a následná diskuse o něm. Grafické řešení vyhodnoceného napětí a posunutí, je pak v měřítku 50:1 a to hlavně kvůli tomu že v měřítku 1:1 by nebylo nic vidět.

### 8.1 MKP analýza Tažnice

Tažnice je namáhána z celého nástroje nejvíce. Namáhání tažnice závisí především na poloměru zaoblení, který v tomto případě činí 5 mm. Na tomto poloměru zaoblení bylo naneseno zatížení celkové tažné síly lisu.

Zadaný materiál: 19 573

Hustota materiálu: 7,85 kg/dm<sup>3</sup>

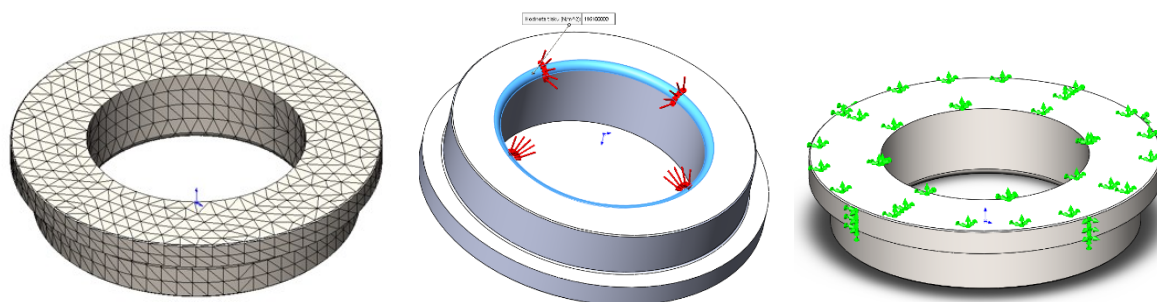
Celková hmotnost dílu: 14,68 kg

Typ sítě: objemová – kvadratická síť

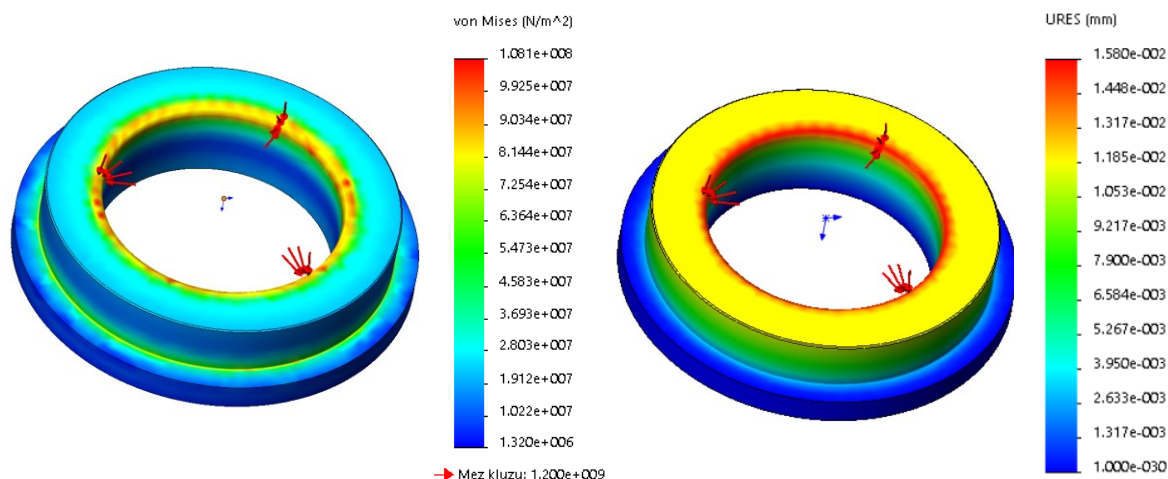
Celkový počet elementů: 9084

Zatížení: 116,1 MPa

Zadané zatížení: 592 251 N



Obr. 46 – Vysíťování , zatížení a uchycení tažnice



Obr. 47 – Von mises napětí a posunutí tažnice v 50-ti násobném měřítku

Celková bezpečnost tažnice vyšla 11,01. Teoreticky to znamená, že tlak vyvozený na tažnici by mohl být až 11 krát vyšší a tažnice by to měla být schopna snést. V praxi to však není úplně pravda, a může se stát že tažnice praskne. Běžně se tento jev však nestává, většinou je prasknutí tažnice způsobené vinou obsluhy lisu, která do lisu dá omylem dva blanky na sebe, popřípadě dá blank mimo přidržovač.

Může se také stát, že víčko, které se vylisuje, zůstane držet na tažnici (například vlivem lepivého oleje, či špatně vloženého blanku. Pokud si toho obsluha lisu nevšimne a položí na přidržovač další blank a následně spustí lis, může to mít pro celý nástroj destruktivní následky. Tento jev se ve Firmě PV-Czech stane i několikrát do roka.

Bezpečnost jako taková posuzuje především pevnost materiálu v tlaku, kde nezahrnuje tření. Právě tření nejvíce ovlivňuje životnost nástroje. Pokud není blank dobře mazán, není dobře očištěn od kovových třísek či špon, může výrazně ovlivnit životnost tažnice.

## 8.2 MKP analýza Tažníku

Tažník je druhý nejvíce namáhaný díl celého nástroje. Namáhání tažníku závisí na průměru tažníku a na jeho dvou poloměrech zaoblení. Na těchto poloměrech zaoblení byla nanesena celková tažná síla lisu, stejně jako v případě tažnice.

Zadaný materiál 19 573

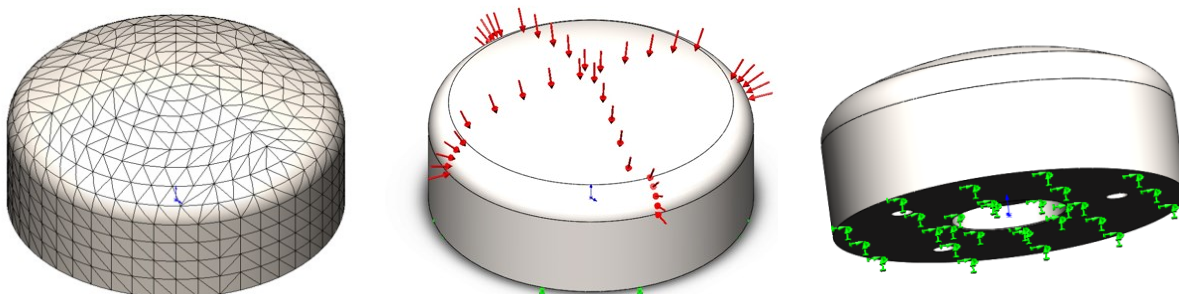
Hustota materiálu:  $\text{kg/dm}^3$

Celková hmotnost dílu: 9,39 kg

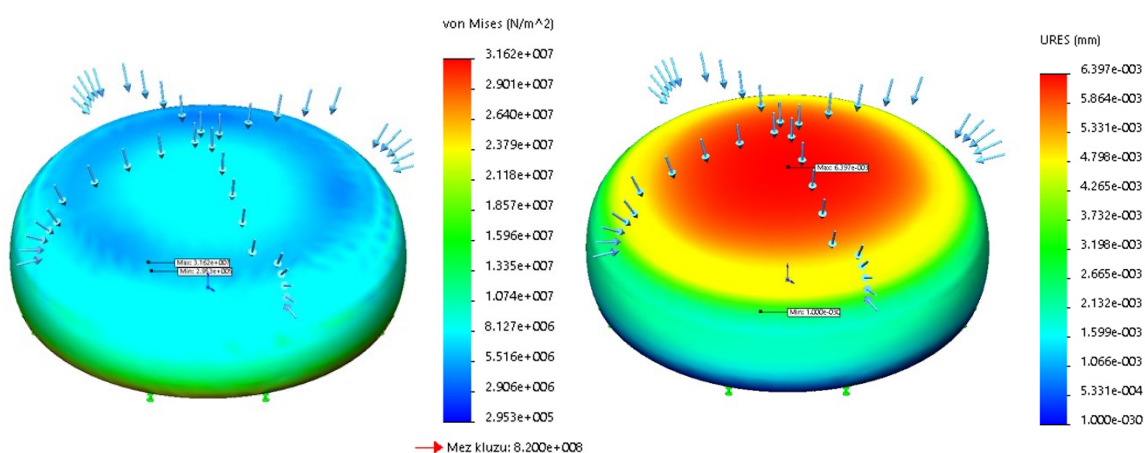
Typ sítě: objemová – kvadratická síť

Celkový počet elementů: 10,6157

Zatížení: 592 251 N



Obr. 48 – Vysíťování, zatížení a uchycení tažníku



Obr. 49 – Von mises napětí a posunutí tažníku v 50-ti násobném měřítku

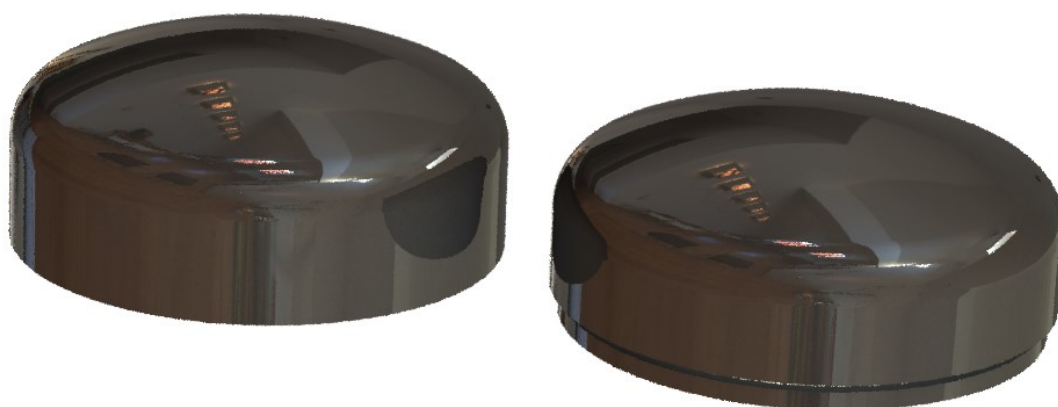
Celková bezpečnost tažníku vyšla 25,93, která je zhruba dvojnásobně vyšší než v případě tažnice. Tažník má v drtivé většině případů však mnohem vyšší životnost než tažnice. Toto je způsobené hlavně tím že materiál je na tažník „nabalován“, kdežto v případě tažnice je materiál po tažném rádiusu posouván, ohýbán a deformován.



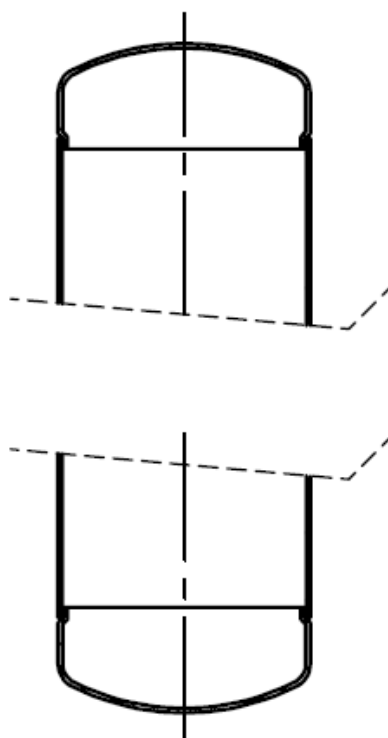
## 9. Konečná úprava víčka – vnitřní zarolování

Víčko se po tažení dále zarolovává, pro lepší svařitelnost a bezpečnost svarového spoje mezi víčkem a barelem tlakové nádoby.

Zarolování se provádí na speciálním rolovacím stroji. Na daný přípravek stroje vložíme víčko přímo po procesu tažení. Spodní lem víčka se zarolovává dovnitř a vzniká tak zarolovaná hrana, na kterou lze bezpečně nasunout, a následně svařit barel.



Obr. 50 – Porovnání víčka bez a se zarolováním



Obr. 51 – Schéma spojení zarolovaného víčka s barelem

## 10. Další možnosti návrhu tvaru víčka

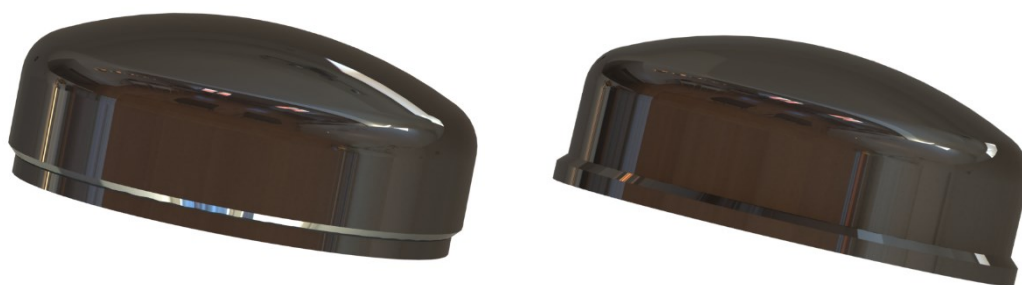
Tlakovou nádobu lze řešit mnoha způsoby z hlediska uchycením víčka na barel. Pokud by řešená tlaková nádoba byla menší, lze by mohla být použita metoda spojení dvou hlubokotažných víček, kde by se tah těchto víček pravděpodobně prováděl na více tahů. V tomto případě by však tato metoda být použita nemohla, jelikož je řešená nádoba hodně vysoká.



Obr. 52 – Další návrhy tvaru víček

### 10.1 Metoda vnějšího zarolování víčka

Z hlediska jednoduchosti svařování je metoda taženého a zarolovaného víčka, provedeného vnitřním zarolováním, nejideálnější metodou. Existuje však i uchycení víčka na barel pomocí vnějšího zarolování, které také není špatnou metodou pro svařování tlakové láhve. Tvar nádoby je však s touto konstrukcí víčka členitý.

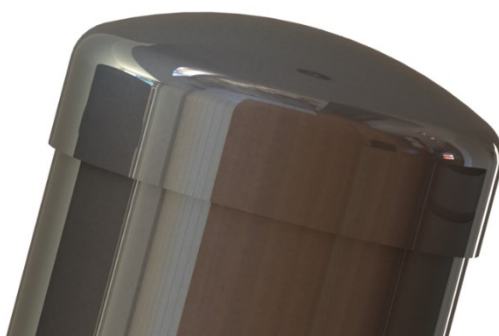


Obr. 53 – Vnitřní a vnější rolování víčka



## 10.2 Metoda většího průměru víčka

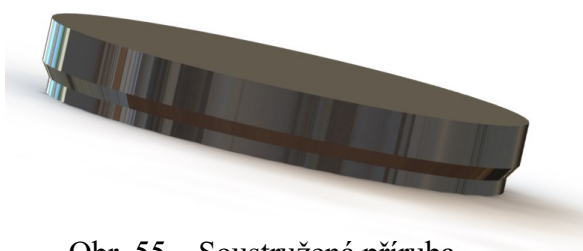
Další z metod je metoda použití většího víčka bez rolování. Tato metoda, u které se zasune víčko na barel, však není příliš vhodným způsobem. Víčko vyžaduje použití složitějšího přípravku, které zajišťuje vzájemnou polohu mezi barelem a víčky. Po vylišování takového víčka by také byla potřeba zaříznout zvlněnou hranu, a to by vyžadovalo použití nejen většího blanku – tudíž větší spotřeby materiálu, ale i další operaci, která by hranu zarovнала, a odebrala tak zvlněnou hranu. Tato operace je také nákladnější než v případě zarolování.



Obr. 54 – Schéma nasazení víčka na barel

## 10.3 Metoda soustružené příruby

Metoda soustružené příruby je další z metod kompletace tlakových lahví. Metoda je však z hlediska velkosériové výroby velmi nevýhodná. Cena této soustružené příruby je i několikanásobně vyšší než v případě lisovaného víčka. Pokud bychom však tuto metodu použili při malosériové výrobě, dala by se tato metoda brát jako výhodná.



Obr. 55 – Soustružená příruba

## 11. Reálný vyrobený kus

Navrženým lisovacím nástrojem byla provedena výroba daného víčka. Víčko bylo naměřeno a hodnoty jeho průměru jsou  $168 \pm 0,3$  mm. Což je poměrně dobrá hodnota na to, že je to tažený kus.

Výška tohoto víčka byla  $70,2 \pm 0,3$  mm. Tato odchylka je způsobená nestejným rozložením materiálu při tažení.



Obr. 56 – Reálná fotografie vyrobeného víčka



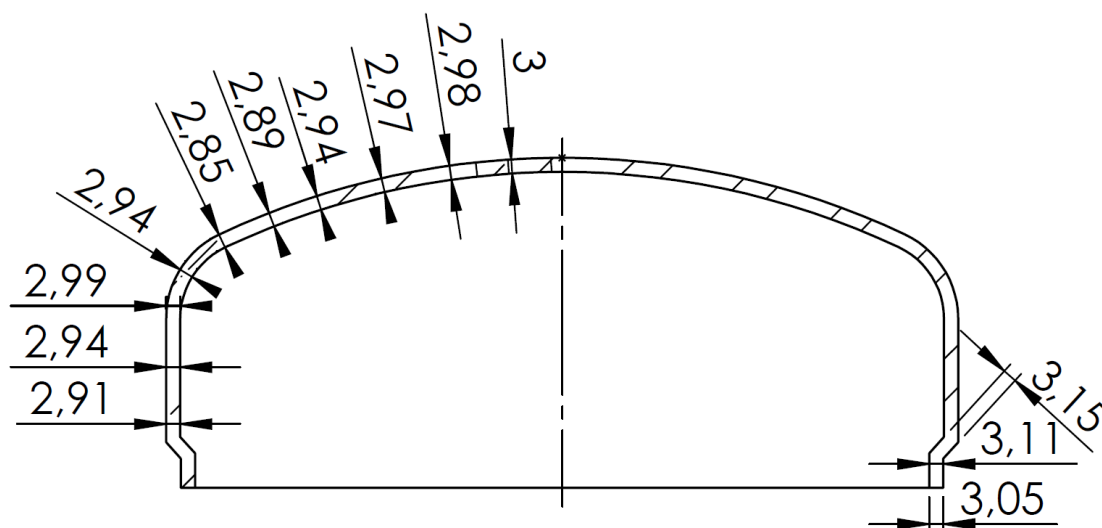
Obr. 57 – Reálná fotografie měření vyrobeného víčka

## 11.1 Tloušťka stěny víčka v řezu

Byl proveden řez víčkem pro zjištění chování materiálu při tažení v jednotlivých místech řezu. I když je tato metoda lisování metodou bez ztenčení stěny, je zřejmé, že materiál při tažení není stejnoměrný po celé své délce.



Obr. 58 – Reálná fotografie víčka v řezu s vnitřním zarolováním



Obr. 59 – Hodnoty tlouštěk naměřené na reálném kusu

Z naměřené tloušťky víčka vyplývá, že největší tloušťka je na vrchní straně víčka, a směrem ke spodní straně se tloušťka nepatrně mění. Minimální tloušťka stěny splňuje minimální tloušťku pro zadanou tlakovou láhev.

## 12. Ekonomické vyhodnocení návrhu

Lisování je otázkou především sériové výroby. Ekonomické vyhodnocení návrhu bude porovnávat návrh lisovaného víčka vyrobeného na navrhnutém nástroji, kupovaného víčka daného průměru a také s návrhem soustružené příruby, při které nepotřebujeme výrobu nástrojů a to při počtu výroby 1000, 10 000, 100 000, 250 000 kusů tlakových víček.

### 12.1 Cena lisovacího nástroje

Celková cena lisovacího nástroje se skládá z mnoha částí, je to vývojová část a výrobní část. Při vývojové části se platí za funkční návrh a 3D výkresy, při výrobní části pak za materiál, cenu výroby, cenu kompletace a neposlední řadě také za přepravu nástroje.

Existuje spousta firem, které se zabývají kompletní výrobou nástrojů, včetně výrobní části. Při výrobě nástroje bylo osloveno několik českých firem s požadavkem o zaslání výrobní ceny a kompletace nástroje.

Vzhledem k tomu že vývojová část nástroje již byla provedena v této DP, oslovené firmy na výrobu tohoto nástroje se tedy zabývali jen výrobní cenou nástroje dle přiložené výrobní dokumentace.

### 12.2 Cena jednoho blanku

Cenu jednoho blanku tvoří cena materiálu spotřebovaného na jeden blank, hodinová sazba lisu na počet stříhaných kusů, a cena nástroje. Nástroj na stříh vyrobí za svou životnost zhruba 400 000 blanků, a stojí cca 200 000,-, k celkové ceně tak připočtu ještě cenu nástroje přepočteného na jeden kus, která činí 0,5 Kč.

$$C_b = C_{mP265GH} \times m_s + \frac{H_{sl}}{nb_{hod}} + C_s = 1,368 \times 22,45 + \frac{1000}{1500} + 0,5 = 31,04 \text{ Kč}$$

Kde:

$C_b$  – cena blanku [Kč]

$m_s$  – hmotnost materiálu spotřebovaný na jeden blank [kg]

$C_{mP265GH}$  – cena 1 kg materiálu P265GH [Kč]

$H_{sl}$  – hodinová sazba lisu [Kč]

$nb_{hod}$  – počet vystřižnutých blenků za jedno hodinu [ks]

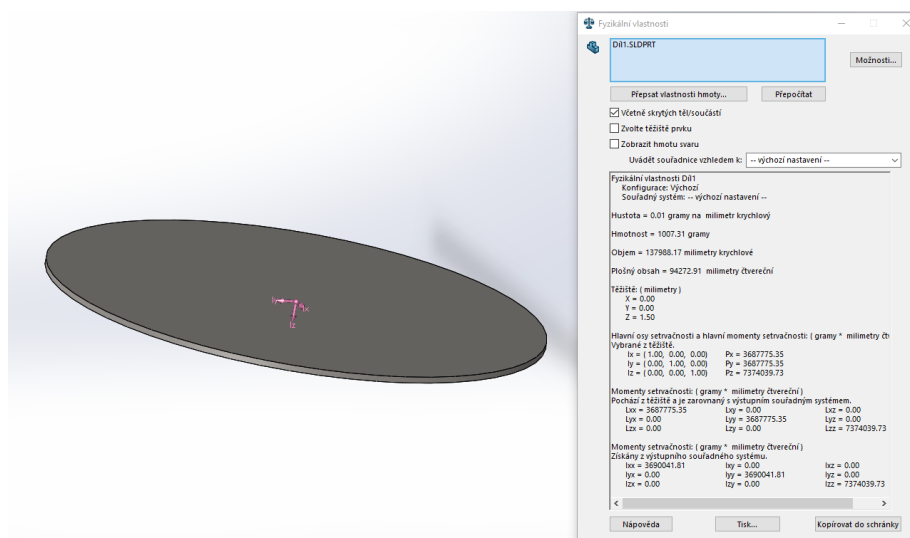
$C_s$  – cena stříhacího nástroje připadající na výrobu jednoho kusu [Kč]

Hmotnost materiálu spotřebovaný na jeden blank se pak spočte ze vztahu:

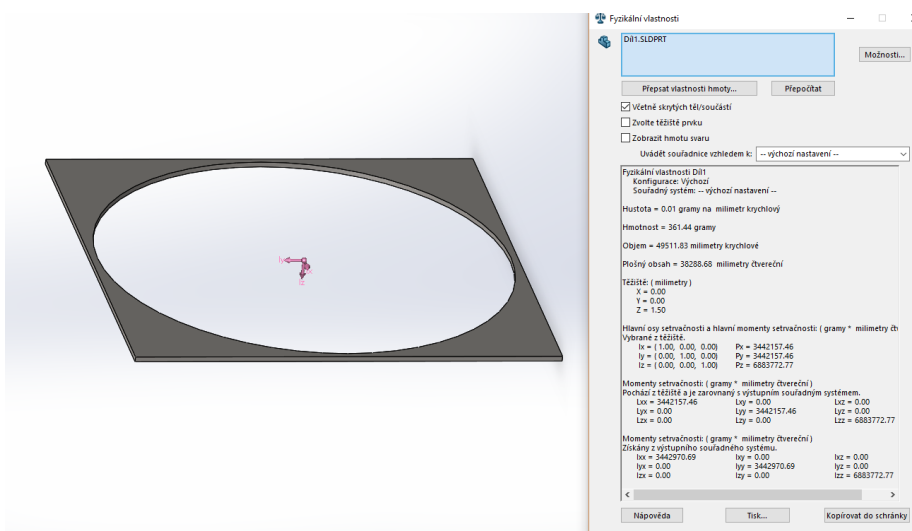
$$m_s = m_b + m_o = 0,361 + 1,007 = 1,368 \text{ kg}$$

$m_b$  – hmotnost blanku [kg]

$m_o$  – hmotnost střižného odpadu [kg]



Obr. 60 – Hmotnost blanku spočtený programem SolidWorks



Obr. 61 – Hmotnost odpadu spočtený programem SolidWorks

### 12.3 Cena jednoho víčka při výrobě 1 000 ks více

Do ceny výroby víčka je zahrnuta cena nástroje, cena jednoho blanku (stříháno ze svitku), cena hodinové sazby lisu, do které jsou zahrnuty aspekty jako (kupní cena lisu, údržba lisu, hodinová sazba obsluhy lisu, spotřeba elektrické energie lisu, režijní náklady, přestavovací časy lisu). Cena je také navýšena o cenu zarolování víčka na zarolovacím stroji. Ta byla již dříve vyčíslena firmou PV-Czech a činí cca 1,50 Kč.

Hodinová sazba lisu se v podniku PV-Czech stanovuje na 1000,-. Za tuto hodinu se pak stihne vyrobiť 110 ks těchto více, rychlost výroby je závislá na nastavení lisu.

Nejnižší cena nástroje byla nabídnuta firmou UNIRON a činila 269 980-.

$$C_{1000} = C_b + \frac{H_{sl}}{n_{hod}} + \frac{C_n}{n_{celk}} + C_z = 31,04 + \frac{1000}{110} + \frac{269\,980}{1000} + 1,5 = 311,61 \text{ Kč}$$

Kde:

$C_b$  – cena jednoho blanku [Kč]

$C_n$  – celková cena nástroje [Kč]

$C_z$  – cena zarolování jednoho víčka [Kč]

$H_{sl}$  – hodinová sazba lisu [Kč]

$n_{hod}$  – počet lisovaných více vyrobených za jedno hodinu [ks]

$n_{celk}$  – celkový počet vyrobených kusů [ks]

### 12.4 Cena jednoho víčka při výrobě 10 000 ks více

$$C_{10\,000} = C_b + \frac{H_{sl}}{n_{hod}} + \frac{C_n}{n_{celk}} + C_z = 31,04 + \frac{1000}{110} + \frac{269\,980}{10\,000} + 1,5 = 68,63 \text{ Kč}$$

### 12.5 Cena jednoho víčka při výrobě 100 000 ks více

$$C_{100\,000} = C_b + \frac{H_{sl}}{n_{hod}} + \frac{C_n}{n_{celk}} + C_z = 31,04 + \frac{1000}{110} + \frac{269\,980}{100\,000} + 1,5 = 44,33 \text{ Kč}$$

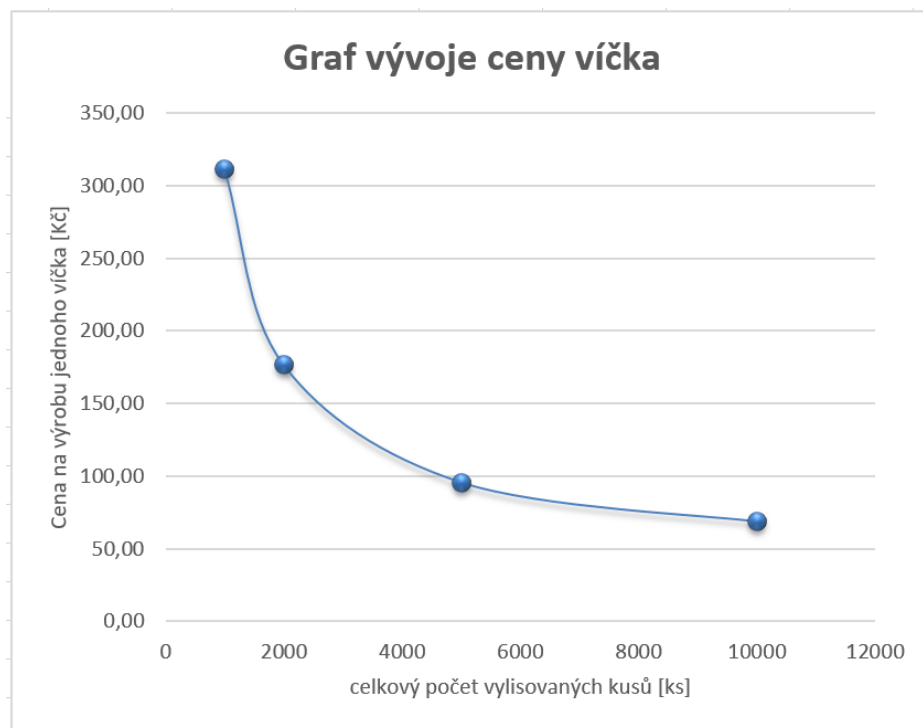
## 12.6 Cena jednoho víčka při výrobě 250 000 ks víček

$$C_{100\,000} = C_b + \frac{H_{sl}}{n_{hod}} + \frac{C_n}{n_{celk}} + C_z = 31,04 + \frac{1000}{110} + \frac{269\,980}{250\,000} + 1,5 = 42,71 \text{ Kč}$$

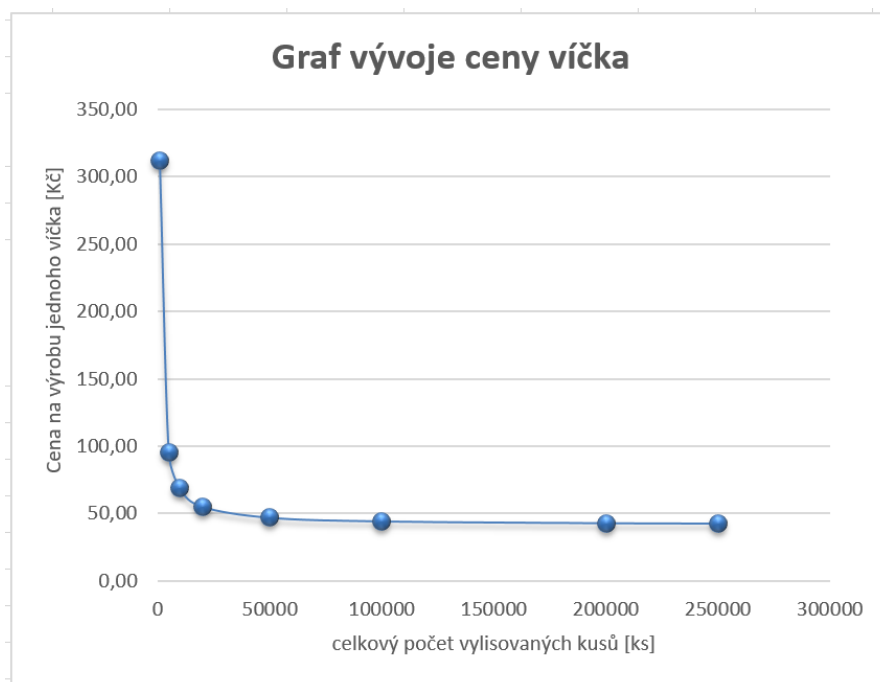
## 12.7 Grafické porovnání ceny jednotlivých návrhů

Cena víčka při soustružení příruby, při výrobě nad 1000 kusů činí 158 Kč/ks, musí se brát však v úvahu, že tento typ víčka sníží celkový objem nádoby, a o tento objem se proto musí zvýšit velikost použitého barelu cena bude tedy navýšena o 4 Kč na 162 Kč/ks, cena nakupovaného víčka firmou, která se zabývá výrobou tlakových víček činí od 1000 kusů zhruba 115 Kč/ks, víčko však není zarolované dovnitř, je pouze zkosené pro vytvoření bezpečného svarového spojení. Ustavování tohoto víčka v přípravku nebude tak dobré jako v případě víčka vylisovaného a zarolovaného.

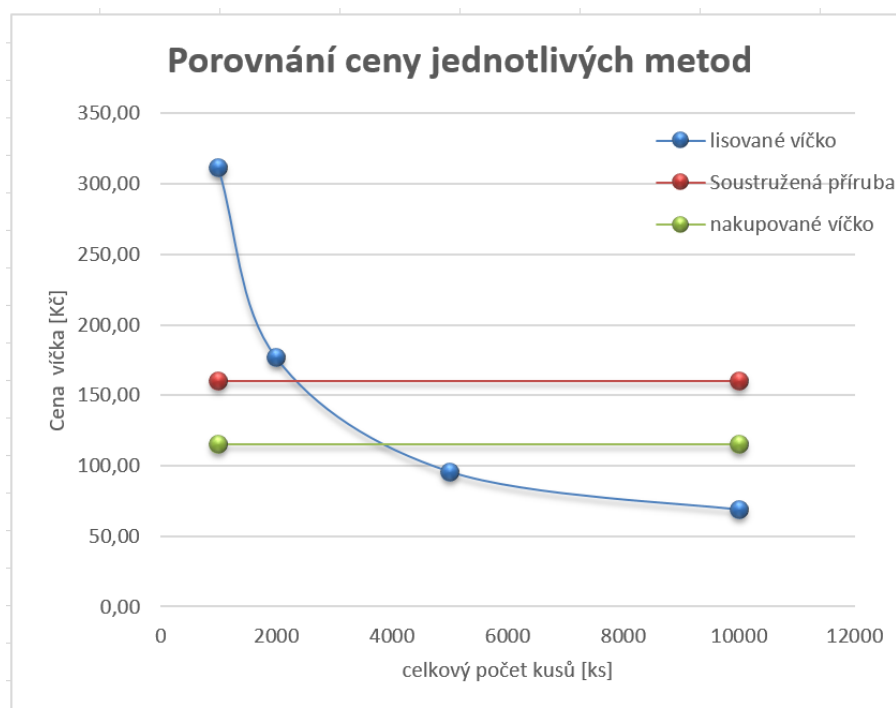
Z grafu č.1 můžeme sledovat vývoj ceny pro 1000 - 10 000 kusů vyrobených víček, kde je vidět největší rozdíl ceny pro tento počet kusů.



Graf č.1 – Vývoj ceny víčka při výrobě 1000 – 10 000 kusů



Graf č.2 – Vývoj ceny víčka při výrobě 1000 – 250 000 kusů



Graf č.3 – Porovnání jednotlivých metod návrhu

Z grafu č.3, je vidět výhodnost použití metody lisování tohoto víčka s porovnáním víčka nakupovaného, a s porovnáním víčka soustruženého. Aby se však tato metoda lisování ekonomicky vyplatila, musí se těchto víček vyrobit minimálně cca 4000 kusů. S přibývajícím počtem vyrobených kusů je zřejmé, že metoda lisování se vyplatí mnohem více, než ostatní metody návrhu.



## **Závěr**

Diplomová práce byla zaměřena na návrh lisovacího nástroje pro výrobu víčka o výšce 70mm. Toto víčko je vyrobeno na jeden tah nástrojem skládajícího se ze třech hlavních částí.

Lisované víčko slouží jako součást tlakové nádoby, dle návrhu splňuje veškeré Evropské směrnice PED 97/23/EC, na tvar víčka se vztahuje německá norma DIN 28011.

Tažník nástroje je umístěn ve spodní části, v prostřední části je umístěn přidržovač a vrchní část je tvořena tažnicí. V mnoha odborných publikacích je uvedeno že tažník obvykle bývá na straně horní a tažnice pak na straně spodní. V praxi tomu však nebývá zvykem a tažník je umístěn ve spodní straně, tažnice pak na straně horní.

Nástroj byl přehledně graficky znázorněn a byly popsány jednotlivé cykly nástroje tak, aby bylo zřetelné a jasné jak se materiál při celém lisovacím procesu chová. Na nástroji byly provedeny veškeré kontrolní výpočty, aby se zvolil typ lisu, který bude víčko vyrábět. Veškeré desky nástroje jsou pak navrženy tak, aby byly plně kompatibilní nejen s daným lisem ale i s dalšími typy lisů a nástroj se stal universálním. Přidržovač je navržen tak, aby jej hydraulické svíčky daného lisu, mohly po vylisování víčka, vrátit do původní polohy a aby kladly na přidržovač tlak o síle 2MPa.

Hlavní části nástroje - tažník a tažnice, byly podrobeny analýze metodou konečných prvků, ve které byla graficky zpracována poloha a velikost zatížení včetně diskuse o reálných případech destrukce nástroje neopatrností obsluhy lisu.

V diplomové práci je vypracován také grafický vývoj závislý na počtu vyrobených kusů, včetně znázornění jiných variant řešení, které byly navrženy jako alternativou pro jiný způsob výroby tlakové láhve.

Byl také představen podnik, ve kterém se celá diplomová práce řešila, a ve které se vyrobil reálný kus, který byl následně změřen a rozměrově vyhodnocen. Vyrobené víčko bylo také rozřezáno, a byla na něm provedena série měření tloušťky stěny po vylisování v jednotlivých místech řezu.

Diplomová práce je doplněná o výkresovou dokumentaci kompletního nástroje se všemi jednotlivými díly. Výkresy víčka s a bez zarolování a výkres tlakové nádoby, pro kterou bylo víčko řešeno, jsou zde také přiloženy. Je přiložen také materiálový atestový list, neboli list certifikace materiálu P265GH, z kterého je víčko vyrobeno.

Všechny vytýčené cíle a požadavky diplomové práce byly splněny.

## Seznam použité literatury:

- [1] ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [2] KALÁB, K. Části a mechanismy strojů pro bakaláře – části spojovací. Ostrava: Ediční
- [3] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2003, 888 s. ISBN 80-86490-74-2
- [4] Kotouč, Jiří. Tvářecí nástroje. Praha: ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1
- [5] Kotouč, Jiří. Nástroje pro tváření za studena. Praha: ČVUT, 1975. 158 s.
- [6] Kříž, R. a Vávra, P. Strojírenská příručka. Praha: Scientia spol. s r.o., 1998. 260 s. ISBN 80-03-00680-5
- [7] BAREŠ, Karel, et al. Lisování. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p. 1971. 544 s. L13-E1-IV-41/22221/X.
- [8] Stříhadla a střížné vôle: směrnice pro výpočet a konstrukci. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975. 28 s. MDT 621.979.07.ČSN 226015
- [9] KOTOUČ, Jiří. Nástroje pro tváření za studena. Praha 1: Vydavatelství ČVUT, 1978. 158 s. ISBN 60-964-78. 2
- [10] MORÁVEK, Otakar; Vladislav BABOROVSKÝ. Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů. Praha: SNTL, 1972. 505 s.
- [11] PWO Unitools. Unitools [online]. 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.unitools.cz/cz/index.php#>>.
- [12] ZUBCOV, M. Lisování. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1955. 476 s. VA-11895/55/SV3-D-00991
- [13] Společnost Culobel [online]. 2017 [cit. 2017-10-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.culobel.com/cs/#>>.
- [14] ČADA, R., Technologický design výtažků z plechu, 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 68 s. ISBN 978-80-248-1459-9
- [15] NOVOTNÝ, J., LANGER, Z., Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů, 1. vydání, Praha, 1980. 216 s., typové číslo L 13-B 3-IV-41/22674, ISBN 04-234-80

- [16] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. 4. vyd. Technologie tváření plošné a objemové tváření, Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2007. ISBN 978-80-214-3425-7
- [17] Technologie tváření kovů [online]. 2017 [cit. 2017-14-02]. Dostupné z WWW:  $< \geq$
- [18] BŘEZINA, R. Technologie I – část 1 : skriptum. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 80 s. ISBN 80-7078-439-3.
- [19] NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření: skriptum. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.

## Seznam obrázků:

Obr. 1 – Hlavní výrobky firmy [13] .....	11
Obr. 2 – Přehled sídla firmy na mapě světa [13] .....	11
Obr. 3 – Letecký pohled na firmu PV-Czech s.r.o. [13] .....	12
Obr. 4 – Loga klíčových zákazníků firmy PV-Czech s.r.o. [13] .....	13
Obr. 5– Přehled jednoduchých plechových výlisků .....	14
Obr. 6 – Přehled složitějších plechových výlisků .....	15
Obr. 7 – Velmi složitý plechový výlisek .....	15
Obr. 8 – Technologické způsoby tažení [17] .....	16
Obr. 9 – Schéma technologie tažení pryže [17] .....	17
Obr. 10 – Přehled rozdělení lisů .....	18
Obr. 11 – Lis vybraných firem.....	18
Obr. 12 – Lisovací nástroj pro stříh plechového dílu .....	19
Obr. 13 – Zobrazení řešeného nástroje .....	20
Obr. 14 – Zobrazení tlakové láhve včetně vnitřních komponent.....	20
Obr. 15 – Další tvary víček .....	21
Obr. 16 – Kótované hlavní rozměry víčka.....	22
Obr. 17 – Schéma vystřihování kruhového blanku.....	25
Obr. 18 – Lis ERFURT USTA.4A R 17 .....	25
Obr. 19 – Fyzikální vlastnosti víčka generovaný programem SolidWorks.....	26
Obr. 20 – Znázornění tažení bez a s přidržovačem.....	29
Obr. 21 – Rozložení nástroje na jednotlivé díly .....	32
Obr. 22 – Celkový pohled na složený nástroj .....	32
Obr. 23 – Spodní díl nástroje .....	33
Obr. 24 – Volba děr základové desky .....	33
Obr. 25 – Uložení vodící tyče .....	34
Obr. 26 – Konstrukce tažníku .....	34
Obr. 27 – Střední díl nástroje v rozloženém a složeném stavu.....	35
Obr. 28 – Středová deska .....	35
Obr. 29 – Stojánek přidržovače .....	36
Obr. 30 – Přidržovač .....	36
Obr. 31 – Pouzdro středové desky .....	36
Obr. 32 – Horní díl nástroje v rozloženém a složeném stavu .....	37
Obr. 33 – Vrchní deska .....	37
Obr. 34 – Výztuha.....	38
Obr. 35 – Podpěrná tyč .....	38
Obr. 36 – Střední deska.....	38
Obr. 37 – Stojánek tažnice .....	39

Obr. 38 – Tažnice.....	39
Obr. 39 – Pouzdra střední desky .....	39
Obr. 40 – První cyklus nástroje v řezu.....	41
Obr. 41 – Druhý cyklus nástroje v řezu .....	41
Obr. 42 – Třetí cyklus nástroje v řezu .....	42
Obr. 43 – Čtvrtý cyklus nástroje v řezu .....	42
Obr. 44 – Pátý cyklus nástroje v řezu .....	43
Obr. 45 – Šestý cyklus nástroje .....	43
Obr. 46 – Vysíťování , zatížení a uchycení tažnice .....	44
Obr. 47 – Von mises napětí a posunutí tažnice v 50-ti násobném měřítku .....	45
Obr. 48 – Vysíťování , zatížení a uchycení tažníku.....	46
Obr. 49 – Von mises napětí a posunutí tažníku v 50-ti násobném měřítku.....	46
Obr. 50 – Porovnání víčka bez a se zarolováním .....	47
Obr. 51 – Schéma spojení zarolovaného víčka s barelem .....	47
Obr. 52 – Další návrhy tvaru víček.....	48
Obr. 53 – Vnitřní a vnější rolování víčka .....	48
Obr. 54 – Schéma nasazení víčka na barel .....	49
Obr. 55 – Soustružená příruba .....	49
Obr. 56 – Reálná fotografie vyrobeného víčka.....	50
Obr. 57 – Reálná fotografie měření vyrobeného víčka.....	50
Obr. 58 – Reálná fotografie víčka v řezu s vnitřním zarolováním .....	51
Obr. 59 – Hodnoty tloušťek naměřené na reálném kusu.....	51
Obr. 60 – Hmotnost blanku spočtený programem SolidWorks.....	53
Obr. 61 – Hmotnost odpadu spočtený programem SolidWorks.....	53

## Seznam příloh:

1. CER0242-DP-0001-D – Výrobní výkres víčka bez zarolování
2. CER0242-DP-0002-D – Výrobní výkres víčka se zarolováním
3. CER0242-DP-0001-TL – Sestavný výkres tlakové nádoby
4. CER0242-DP-0001-MAT – Materiálový certifikát
5. CER0242-DP-0001-N – Sestavný výkres lisovacího nástroje
6. CER0242-DP-0001-N01 – Vrchní deska
7. CER0242-DP-0001-N02 - Výztuha
8. CER0242-DP-0001-N03 – Podpěrná tyč
9. CER0242-DP-0001-N04 – Deska tažnice
10. CER0242-DP-0001-N05 – Pouzdro 50 DL
11. CER0242-DP-0001-N06 - Tažnice
12. CER0242-DP-0001-N07 – Stojánek tažnice
13. CER0242-DP-0001-N08 - Přidržovač
14. CER0242-DP-0001-N09 – Stojánek přidržovače
15. CER0242-DP-0001-N10 – Středová deska
16. CER0242-DP-0001-N11 – Pouzdro 50KR
17. CER0242-DP-0001-N12 – Tažník
18. CER0242-DP-0001-N13 – Podložka tažníku
19. CER0242-DP-0001-N14 – Středící čep
20. CER0242-DP-0001-N15 – Základová deska
21. CER0242-DP-0001-N16 – Vodící tyč
22. CER0242-DP-0001-N17 – Úchyt vodící tyče